

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**Curso Académico 2013 - 2014**

**“DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE  
UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE  
INTERFAZ MÓVIL”**



**Universidad  
Carlos III de Madrid**  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

**Trabajo Fin de Grado**

**Autor: Sergio Rodríguez Cezón**

**Tutor: Álvaro Castro González**



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Álvaro Castro por la oportunidad que me ha dado para poder realizar este proyecto, así como su ayuda y consejos a lo largo de estos meses de trabajo.

Al Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UC3M, por su ayuda con la fabricación de la placa PCB y permitirme usar impresoras 3D.

A Estefanía Sarasola por ampliar mis conocimientos de Android. Muy especialmente a Pedro de Oro por su inestimable apoyo, por aguantarme en todos los trabajos de prácticas que hemos hecho juntos, por compartir conmigo sus conocimientos y por saber que siempre estaba ahí. Y a todos mis compañeros y amigos que me han acompañado durante mis años de universidad.

Por último, quisiera agradecer a mis padres todo el apoyo y consejos que me han dado durante la carrera y a lo largo de toda mi vida.

¡Gracias a todos!

## **RESUMEN**

El objetivo del presente proyecto es el diseño y montaje de un vehículo imprimible capaz de recoger, transportar y depositar pequeñas cargas. Todo el control se realizará mediante un smartphone o tablet. La aplicación instalada contemplará el diseño de una pantalla multidispositivo para poder adaptarla a cualquier tamaño, de manera que se pueda utilizar en todos los móviles con un sistema operativo Android, independientemente de sus características físicas.

Los datos para el control se obtendrán del acelerómetro que incorporan estos aparatos, y enviará la información requerida de forma inalámbrica mediante un sistema Bluetooth.

La aplicación del dispositivo móvil también permitirá al usuario almacenar los movimientos en un archivo, que se guardará en la tarjeta SD, con el fin de reproducirlos en el momento deseado.

Para la realización del diseño mecánico del vehículo, se ha utilizado una impresora 3D, del departamento de Sistemas y Automática, con la que se ha podido imprimir gran parte de las piezas. Y para organizar las distintas conexiones electrónicas, se ha fabricado una placa PCB.

Los objetivos fundamentales que se pretenden conseguir con este proyecto son tres:

- Realizar el control a través de cualquier dispositivo con un sistema operativo Android, que es hoy en día una tecnología de uso cotidiano. De esta manera se evita un sistema exclusivo para el manejo del vehículo.
- La utilización de materiales muy versátiles y de fácil acceso y un software y hardware libres, dando la posibilidad de realizar mejoras y evoluciones al proyecto para poder adaptarlo a cualquier trabajo específico que se necesite.
- Fabricar la mayor parte de sus piezas con una impresora 3D, por lo que se puede variar fácilmente el diseño, adaptándolo a usos específicos. Además, permite que la fabricación la pueda realizar el propio usuario. Con todo ello se consigue un proyecto de bajo coste.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is the design and installation of a printable vehicle capable of collecting, transporting and depositing small loads. All control will be done by a smartphone or tablet. The installed application will consider the design of a multi-device to fit any screen size so that it can be used on all phones with an Android operating system, regardless of their physical characteristics.

The data for the control will be obtained of the accelerometer which these devices incorporate, and the required information will be sent wirelessly by a Bluetooth system.

The mobile application will also allow the user to store the movements in a file that is saved to the SD, in order to be able to use them when desired.

To perform the mechanical design of the vehicle, it has been used a 3D printer, property of the Department of Systems and Automation, with which it has been able to print many of the pieces. And in order to organize the different electronic connections, has manufactured a PCB.

The objectives to be achieved with this project are three:

- The control is implemented by any device with an Android operating system, which is a day-to-day technology nowadays. This way, a unique system for vehicle handling is avoided.
- The use of versatile materials and of easy access and free software and hardware, giving the opportunity to make improvements and changes to the project to fit any specific job needs.
- Most of their pieces are made by a 3D printer, so the design can be modified easily, adapting it to specific uses. It also allows that the manufacture is able to be performed by the user. This makes it a low cost project.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	5
ÍNDICE GENERAL .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
I. MEMORIA .....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Motivación .....	12
1.2 Objetivos del proyecto .....	13
1.3 Fases .....	14
2. INSPIRACIÓN .....	15
2.1 Sistemas de elevación de la carga .....	17
2.2 Tren de rodaje.....	20
2.3 Posición del operario.....	22
3. MÁQUINAS Y ELEMENTOS EMPLEADOS.....	24
3.1 Impresora 3D .....	24
3.2 Arduino.....	28
3.3 Smartphone.....	31
3.4 Módulo Bluetooth .....	34
3.5 Alimentación.....	35
3.6 Servomotores.....	36
3.7 Final de carrera .....	37
3.8 Cadena de transmisión.....	38
3.9 Plancha DM.....	38
3.10 Placa de circuito impreso (PCB).....	39
3.11 Otros .....	41
4. DISEÑO MECÁNICO.....	42
4.1 Base.....	42
4.2 Dirección .....	43
4.3 Tracción .....	46
4.4 Elevación.....	46
5. DISEÑO DE SOFTWARE .....	48
5.1 Interfaz Móvil.....	48
5.2 Programa de Arduino .....	53
5.3 Protocolo de comunicación .....	59

6. FABRICACIÓN Y MONTAJE .....	62
6.1 Dirección .....	62
6.1.1 Brazos .....	62
6.1.2 Base 1 .....	63
6.1.3 Ruedas delanteras.....	64
6.1.4 Casquillos .....	65
6.1.5 Cremallera .....	66
6.2 Tracción .....	67
6.2.1 Rueda trasera .....	67
6.2.2 L1 / L2.....	68
6.3 Elevación.....	69
6.3.1 Topes.....	69
6.3.2 Codos .....	70
6.3.3 Base 2 .....	71
6.3.4 Suplementos.....	72
6.3.5 Portahorquillas.....	73
6.3.6 Horquillas.....	74
6.3.7 Finales de carrera .....	75
6.4 Electrónica .....	76
6.4.1 Servomotores .....	76
6.4.2 PCB y conexiones.....	77
7. PRUEBAS .....	78
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	81
9. BIBLIOGRAFÍA.....	84
II. PLANOS .....	85
1. DIRECCIÓN.....	86
2. TRACCIÓN .....	91
3. ELEVACIÓN .....	94
4. PLACA DE CIRCUITO IMPRESO.....	103
III. ANEXOS.....	105
A. PLANIFICACIÓN DE TAREAS Y PRESUPUESTO .....	106
A.1 Organización de tareas .....	106
A.2 Presupuesto.....	108

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. BeeWi Mini Cooper S.....	15
Figura 2. Helicóptero iSuper .....	15
Figura 3. Ejemplos creados en la UC3M en una impresora 3D.....	16
Figura 4. Transpaleta de pequeña elevación .....	17
Figura 5. Brazo inclinable telescópico.....	18
Figura 6. Brazos inclinables no telescópicos.....	18
Figura 7. Limitación del movimiento.....	19
Figura 8. Ejemplos de Sistema de elevación vertical .....	20
Figura 9. Carretilla de 3 ruedas.....	21
Figura 10. Carretilla de 4 ruedas y tracción delantera .....	21
Figura 11. Carretilla de 4 ruedas y doble tracción .....	22
Figura 12. Operario transportado sentado .....	23
Figura 13. Operario transportado de pie .....	23
Figura 14. Operario a pie .....	23
Figura 15. Sistema de estereolitografía (SLA).....	24
Figura 16. HIJA.....	26
Figura 17. Google SketchUp 8.....	27
Figura 18. Repetier-Host 0.90B .....	27
Figura 19. Módulo Arduino Pro Mini.....	28
Figura 20. Cable adaptador FTDI .....	29
Figura 21. Módulo adaptador .....	29
Figura 22. IDE Arduino 0023.....	30
Figura 23. Comparativa entre dispositivos inteligentes .....	31
Figura 24. IDE Processing 2.0b7 .....	32
Figura 25. Botonera de Processing 2.0b7 .....	33
Figura 26. Módulo bluetooth JY-MCU .....	34
Figura 27. Baterías Ni – MH.....	35
Figura 28. Portapilas.....	35
Figura 29. Servomotores .....	36
Figura 30. Servo Futaba S3003 .....	37
Figura 31. Final de carrera miniatura .....	37
Figura 32. Cadena de transmisión .....	38
Figura 33. Tableros DM .....	38
Figura 34. Placa de circuito impreso (PCB) .....	39



Figura 35. Orcad Capture .....	41
Figura 36. Orcad Layout .....	41
Figura 37. Diseño de la base .....	42
Figura 38. Sistema holonómico.....	44
Figura 39. Sistema no-holonómico.....	44
Figura 40. Dirección forma de paralelogramo .....	45
Figura 41. Sistema de tracción .....	46
Figura 42. Sistema de elevación .....	47
Figura 43. Pantalla principal.....	48
Figura 44. Representación de los grupos.....	49
Figura 45. Cambios de estado de algunos botones .....	51
Figura 46. Flujograma de la aplicación Android .....	52
Figura 47. Diagrama de clases del programa de Arduino .....	54
Figura 48. Flujograma del programa de Arduino .....	55
Figura 49. Flujograma del procesamiento de tracción.....	56
Figura 50. Flujograma del procesamiento de dirección .....	57
Figura 51. Flujograma del procesamiento de elevación .....	58
Figura 52. Conexión del módulo Bluetooth a la placa Arduino .....	59
Figura 53. Imágenes de solicitud de permiso de Bluetooth .....	60
Figura 54. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema .....	61
Figura 55. Brazo derecho e izquierdo .....	62
Figura 56. Montaje de uno de los brazos .....	63
Figura 57. Base 1 .....	63
Figura 58. Montaje de la Base 1 .....	64
Figura 59. Ruedas delanteras.....	64
Figura 60. Montaje de la rueda delantera.....	65
Figura 61. Casquillos .....	65
Figura 62. Montaje del casquillo .....	66
Figura 63. Montaje de la cremallera.....	66
Figura 64. Rueda trasera .....	67
Figura 65. Montaje de la rueda trasera .....	67
Figura 66. L1 y L2.....	68
Figura 67. Montaje de L1 .....	68
Figura 68. Topes.....	69
Figura 69. Montaje de los topes.....	69
Figura 70. Codos .....	70
Figura 71. Montaje de los codos .....	70

Figura 72. Base 2 .....	71
Figura 73. Montaje de la Base 2 .....	71
Figura 74. Montaje de los Suplementos .....	72
Figura 75. Portahorquillas .....	73
Figura 76. Montaje del portahorquillas .....	73
Figura 77. Horquillas .....	74
Figura 78. Montaje de las Horquillas .....	74
Figura 79. Final de carrera superior .....	75
Figura 80. Final de carrera inferior .....	75
Figura 81. Eliminación de pestaña .....	76
Figura 82. Sustitución del potenciómetro .....	76
Figura 83. Placa PCB montada .....	77
Figura 84. Conexiones a la PCB .....	77



## I. MEMORIA

# **1. INTRODUCCIÓN**

A continuación se detallará la motivación personal para realizar este proyecto, los objetivos y las fases de que se ha compuesto.

## **1.1 Motivación**

La motivación fundamental ha sido la de crear un pequeño robot, el cual me ayudase a ampliar mis conocimientos sobre programación, descubrir el mundo de las impresoras 3D y poner en práctica muchas de las cosas aprendidas en las asignaturas cursadas a lo largo de mis años en la universidad.

También he pretendido conseguir que todos aquellos conocimientos teóricos adquiridos se pudieran plasmar en algo práctico y tangible con el que poder interactuar más allá de una simulación.

Pienso que al igual que me ha enseñado a mí, puede enseñar a muchas más personas, lo que lo convierte en un instrumento muy adecuado para material didáctico, pues se estudian muchos tipos de materias:

- Electrónica básica.
- Creación de una placa PCB.
- Un software que no requiere un conocimiento excesivo del lenguaje de programación, como es el caso del IDE Processing, utilizado para programar la aplicación del smartphone y Arduino para el control.
- Protocolos de comunicación.
- Utilización de impresoras 3D.

Creo que este proyecto resume muy bien todo aquello que siempre me ha gustado estudiar y por lo que he mostrado un gran interés, como son los campos de la robótica, automática, electrónica, diseño y programación. De manera que he querido aprovecharlo al máximo y ponerlo en práctica.

## 1.2 Objetivos del proyecto

- Construcción de un vehículo imprimible con sistema de elevación y transporte de cargas.
- Creación de un programa para una placa Arduino, que mediante un módulo Bluetooth conecte la placa con el dispositivo móvil, interpretando y ejecutando las órdenes recibidas.
- Creación de una aplicación Android que permita la conexión con el módulo Bluetooth, enviando las órdenes necesarias a la placa Arduino. Permite la opción de guardar los movimientos en una tarjeta SD externa para una futura reproducción automática.
- Diseño e implementación de una interfaz multidispositivo que muestre los botones y la barra de progresión cuando se reproduzcan las órdenes guardadas.
- Diseño de una PCB para acoplar la placa Arduino y mejorar la organización de las conexiones eléctricas y electrónicas.

## 1.3 Fases

El proyecto se ha llevado a cabo en las siguientes fases:

### FASE 1

- Estudio de los distintos tipos de sistemas de locomoción y elevación actuales.
- Elección del modelo a seguir.

### FASE 2

- Diseño e impresión de las piezas que conformarán el vehículo.

### FASE 3

- Selección de la placa Arduino e implementación del código que controlará los elementos conectados.
- Diseño gráfico e implementación del código que conformará la aplicación móvil, capaz de obtener los datos del acelerómetro y enviarlos por Bluetooth a la placa Arduino.

### FASE 4

- Diseño y fabricación de la placa base a la que irán conectados el módulo de Arduino, la alimentación, el módulo Bluetooth, los servomotores y los finales de carrera.

### FASE 5

- Montaje de todas las conexiones eléctricas y electrónicas presentes en el proyecto.
- Comprobación del buen funcionamiento del conjunto y rectificación de los errores.

### FASE 6

- Redacción de la memoria.
- Presentación y defensa del proyecto.

## **2. INSPIRACIÓN**

Con el auge de las nuevas tecnologías de teléfonos inteligentes, y su relativa facilidad para programar, muchas empresas han creado aplicaciones con la capacidad de poder manejar juguetes vía Bluetooth como, entre otros, son los famosos BeeWi Mini Cooper S (figura 1) o los helicópteros iSuper (figura 2).



**Figura 1. BeeWi Mini Cooper S**



**Figura 2. Helicóptero iSuper**

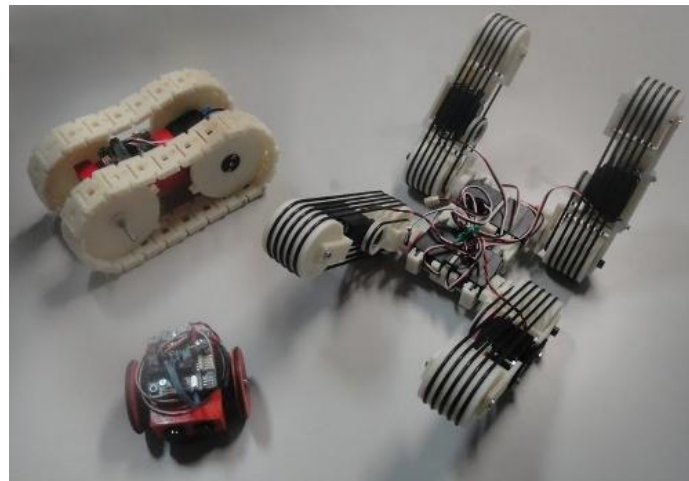
Dada la gran importancia de la industria enfocada al ocio, y en concreto la dedicada al aeromodelismo, automodelismo o modelismo naval, este tipo de aplicaciones también se han desarrollado enormemente. Las empresas dedicadas a su fabricación, han sido las encargadas de la investigación para la utilización de sistemas de control inalámbrico y miniaturización de gran parte de los componentes que utilizan en sus modelos, dado que el peso y el tamaño al que tienen que ajustarse es esencial.

Hay muchos usuarios que se han construido sus propios juguetes con piezas de Lego, Mecano o con materiales simples, dotándolos con la electrónica Arduino, Raspberry Pi, o similares. Aprovechando aplicaciones ya hechas y de dominio público que son capaces de comunicarse mediante Bluetooth con un módulo de la misma tecnología, como es el caso de las apps Blueterm, S2 Bluetooth, etc. El inconveniente de estas aplicaciones es que no pueden ofrecer un estilo personalizado para todas las funciones a las que puede estar destinado.

Otros usuarios con más experiencia en programación, se diseñan su propia aplicación para poder adaptarla mejor a la finalidad del soporte mecánico que vayan a construir.

Las impresoras 3D están jugando un papel cada vez más importante a la hora de crear pequeños robots y juguetes, ya sea con piezas concretas que sirvan de apoyo a la construcción de los mismos, o imprimiendo el juguete completamente por partes para luego montarlo junto con la electrónica adecuada.

Gracias a la adquisición de este tipo de impresoras, se está fomentando su uso y la fabricación de pequeños robots en la universidad (figura 3). De esta manera los alumnos pueden aprender y desarrollar sus capacidades de programación, diseño y comunicación con los robots.



**Figura 3. Ejemplos creados en la UC3M en una impresora 3D [11]**

En este caso, se ha querido construir un vehículo propio con materiales versátiles y de fácil acceso, pero que no fuesen piezas comerciales de construcción. Es por ello que se ha utilizado una impresora 3D, permitiendo realizar los diseños de las piezas concretas que se van a utilizar. Además se ha creado una aplicación móvil personalizada, con la que poder manejar el vehículo de forma sencilla e intuitiva.

Para este proyecto han servido de inspiración algunos de los tipos de vehículos industriales que hay en la actualidad y que se utilizan para el almacenamiento de cargas, atendiendo entre otras cosas a su sistema de elevación o el método de tracción y dirección que utilicen [9].

De manera que para poder evaluar qué sistema es el que mejor se adapta a la finalidad de este proyecto, se va a estudiar por separado los diferentes tipos de sistemas que existen hoy en día.



## 2.1 Sistemas de elevación de la carga

Según el sistema de elevación de carga existen 3 tipos:

- **De pequeña elevación**

Se utiliza para separar ligeramente la carga del suelo y mejorar el transporte. En general se recurre a este tipo de sistema cuando el terreno es llano, el trayecto a realizar es corto y la carga que va a transportar no es excesivamente pesada, debido a que es la fuerza del operario la encargada de mover la máquina y la mercancía.

La horquilla o plataforma se eleva mediante un sistema mecánico o hidráulico, para separar la carga del suelo y facilitar su transporte (figura 4).



**Figura 4. Transpaleta de pequeña elevación**

Este tipo de sistema de elevación se aleja de la idea de este proyecto al no permitir elevar la carga a demasiada altura y complicar el sistema de locomoción por falta de espacio.

- **Brazo inclinable**

Este tipo de sistema tiene dos variantes:

Telescópico

La característica principal es que la forma de elevación de la carga se realiza mediante un brazo acoplado al vehículo. A demás, mediante un sistema hidráulico es capaz de alargarse permitiendo elevar la carga a una mayor altura (figura 5).



**Figura 5. Brazo inclinable telescópico**

No telescópico

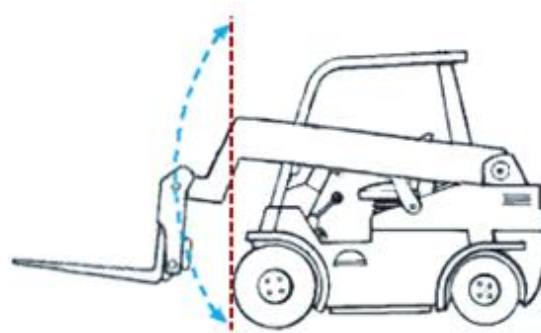
En esencia se trata del mismo sistema que el telescópico con la diferencia de que son dos brazos no extensibles los que soportan la carga (figura 6).



**Figura 6. Brazos inclinables no telescópicos**

La idea original de este proyecto era el diseño y construcción de dos brazos inclinables no telescópicos, pero dos aspectos técnicos hicieron que se rechazara. Como se puede observar (figura 7) el movimiento circular que llevan a cabo los brazos (arco azul) no permite subir la carga a partir de una determinada altura, debido a que quedaría fuera del plano de las ruedas delanteras (línea roja), lo que impide depositarla en el lugar deseado. Además habría que tener un control sincronizado de la horquilla, pues siempre tendría que quedar a 90° con respecto al suelo.

Entonces se pensó en hacer un sistema basado en un brazo inclinable telescópico, pero el tener que controlar la extensión del brazo complicaba mucho la construcción, además de seguir teniendo el problema de mantener la horquilla en posición horizontal.



**Figura 7. Limitación del movimiento**

- **Mástil vertical**

Este sistema admite el diseño de diversos tipos de vehículos, dependiendo del entorno en el que vayan a operar. Consiste en unas guías verticales por donde se desliza la placa portahorquillas, mediante sistemas hidráulicos, cadenas, etc. Elevando o descendiendo la carga (figura 8).



**Figura 8. Ejemplos de Sistema de elevación vertical**

Debido a la versatilidad a la hora de diseñar y fabricar este tipo de sistema y que el centro de gravedad del vehículo no varía en el eje horizontal, se ha escogido este sistema para el presente proyecto, con un método de transmisión mediante cadenas.

## 2.2 Tren de rodaje

Atendiendo al tren de rodaje, se puede diferenciar 3 tipos de sistemas:

- **Rodadura en triciclo**

El vehículo se compone de 3 ruedas, donde el eje motriz y directriz recae sobre una sola rueda (o dos ruedas gemelas), centrada sobre el eje longitudinal de la máquina (figura 9).



**Figura 9. Carretilla de 3 ruedas**

La ventaja de tener el sistema motriz en la parte posterior y no en la anterior, es que permite realizar giros muy cerrados. El inconveniente que tiene para implementarlo es que con los medios de que se disponen, resulta complicado crear un sistema de una sola rueda que a la vez que es motriz, tenga la capacidad de poder girar.

- **Con 4 ruedas y tracción delantera**

En este caso, el vehículo posee 4 ruedas, de las cuales el eje delantero es el motriz y el trasero el directriz (figura 10). Según los casos, en el eje anterior pueden montarse ruedas dobles o gemelas.



**Figura 10. Carretilla de 4 ruedas y tracción delantera**

La ventaja de este sistema frente al triciclo, es que al tener 4 ruedas le confiere al vehículo una mayor estabilidad, permitiendo poder tomar las curvas a una mayor velocidad y llevar cargas de mayor peso.

- **Con 4 ruedas y doble tracción**

Se trata de un vehículo con 4 ruedas sobre dos ejes motrices y con dirección en el eje posterior. Suelen ser carretillas “todo terreno” con motor a combustión (figura 11).



**Figura 11. Carretilla de 4 ruedas y doble tracción**

Como se puede apreciar en la figura, el tamaño y robustez de las ruedas es mucho mayor que en los casos anteriores. La doble tracción le permite operar en condiciones irregulares y de difícil acceso, por ello son carretillas propias de exteriores.

## 2.3 Posición del operario

Dependiendo del tipo de carretilla elevadora existen tres posiciones en las que un operario puede dirigirlas:

- **Operario transportado sentado**

La carretilla puede ser manejada desde un asiento, permitiendo al trabajador poder realizar un mayor trabajo de continuo (figura 12).

- **Operario transportado de pie**

La carretilla posee una plataforma capaz de transportar al trabajador mientras éste la dirige (figura 13). Se utiliza cuando es necesario que el operario salga con frecuencia del vehículo.

- **Operario a pie**

A diferencia de los anteriores, en este caso la máquina no posee un asiento o plataforma en la cual el operario pueda ser transportado por el vehículo (figura 14).



**Figura 12. Operario transportado sentado**



**Figura 13. Operario transportado de pie**



**Figura 14. Operario a pie**

En ninguno de los casos estudiados se ha observado un ejemplo en el que el operario controlase de forma remota la carretilla elevadora. Y eso dio la idea de implementar en este proyecto un sistema de control a distancia.

El tipo de vehículo que se pretende fabricar será, por tanto, una pequeña carretilla elevadora imprimible y de bajo coste, de horquilla contrapesada con un sistema de elevación vertical y que permita al usuario ser capaz de manejarla de forma remota.



### 3. MÁQUINAS Y ELEMENTOS EMPLEADOS

#### 3.1 Impresora 3D

Una impresora 3D es una máquina capaz de fabricar un objeto sólido tridimensional a partir de un diseño hecho por ordenador. En la actualidad se utilizan para moldear prototipos de piezas industriales o prótesis médicas, ya que no requiere adaptar ni crear toda una maquinaria específica que se encargue de fabricarlos. Lo que supone una gran ventaja, tanto económica como temporal.

Las primeras impresoras 3D nacen en 1984, a partir de algunas adaptaciones y avances sobre el concepto de la inyección de tinta.

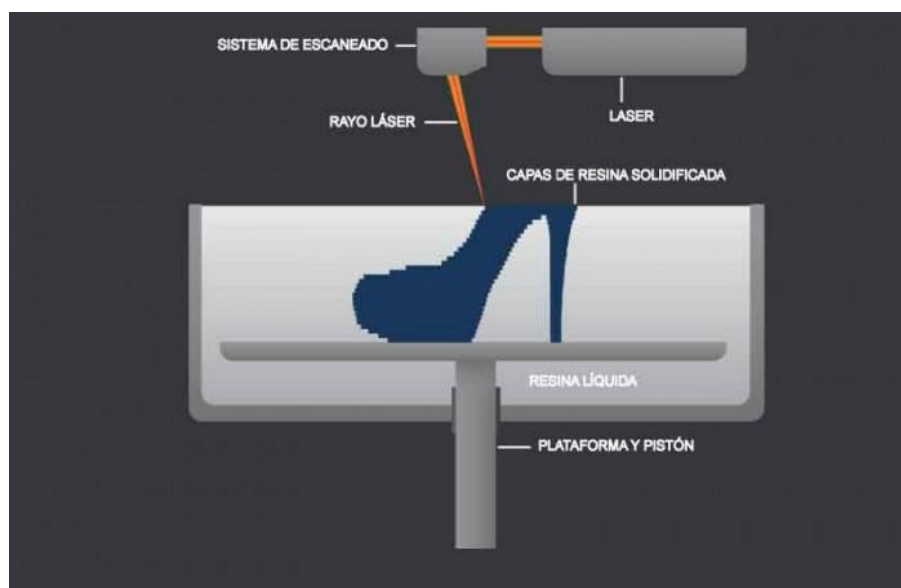


Figura 15. Sistema de estereolitografía (SLA) [6]

Más tarde, en 1986, Charles Hull co-fundador de la empresa 3D Systems, inventa la estereolitografía (figura 15). Esta técnica consiste en la adición de capas de resina líquida, presente en una cubeta, que cura y se solidifica mediante la exposición a un láser de luz ultravioleta. Cuando la capa se ha solidificado, la plataforma que sostiene el objeto sólido desciende la misma distancia que tiene el grosor de la capa, para a continuación volver a solidificar la siguiente capa.



De esta manera, capa a capa, se consigue transformar el diseño creado en el ordenador a un objeto sólido.

A lo largo de los últimos años se han ido desarrollando diversos métodos de impresión 3D:

- **Impresión por deposición de material fundido (FDM):** La impresora posee un extrusor que al calentarse a unos determinados grados funde el plástico. Capa a capa la impresora extruye el plástico que con la temperatura ambiente va solidificando, hasta obtener la pieza resultante.
- **Impresión por inyección:** La impresora esparce una capa de polvo, plástico o resina, e inyecta un líquido coaligante en la sección de la pieza. El proceso se repite capa a capa, hasta que finaliza la impresión.
- **Fotopolimerización por absorción de fotones:** Se parte de un bloque de gel, el cual es atacado con un láser. Debido a la no-linealidad óptica de la fotoexcitación, el gel es curado y solidifica en los lugares donde el láser ha incidido. Finalmente se lava el bloque, eliminando el gel sobrante.

En el año 2005, el Dr. Adrian Bowyer desarrolla la *RepRap*, la primera impresora 3D autorreplicante. Capaz de imprimir las piezas necesarias para la construcción de nuevas impresoras. Este concepto supone un gran avance ya que permite crear una impresora 3D en muy poco tiempo, y da la oportunidad a la expansión de impresoras 3D caseras.

La Universidad Carlos III de Madrid, inició en el año 2009 – 2010 un proyecto basado en las impresoras RepRap, llamado "*Clon Wars*", con la idea de crear nuevas impresoras 3D a partir de otras e ir evolucionando en su diseño. El proyecto ha tenido tanto éxito que a día de hoy van por la 4ª generación.

Las impresoras 3D son uno de los elementos más importantes utilizados en este proyecto, ya que con ellas se han podido imprimir las distintas piezas que componen el vehículo.

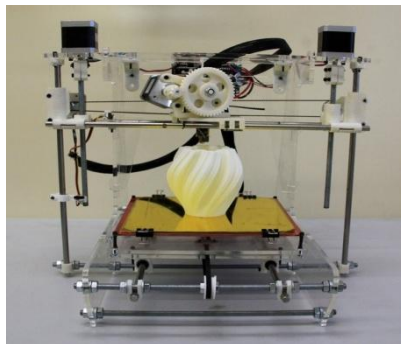
Para la realización de este proyecto se ha utilizado una impresora cuyo método de impresión es de "Impresión por deposición de material fundido" (FDM), en este caso plástico ABS.

## **HIJA**

Es la primera impresora 3D fabricada para el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UC3M, por alumnos de la misma [2].

El motivo fue la sustitución de MADRE, una de las primeras Makerbot, para montar esta nueva Prusa Air 2, un modelo más moderno y robusto.

A continuación se detallan algunas de las características más destacadas de HIJA (figura 16).



- **Nombre:** HIJA
- **Familia:** Prusa Air
- **Generación:** 1
- **Modelo:** Prusa Air 2, del Proyecto Opensource Reprap
- **Electrónica:** Sanguinololu 1.3b
- **Extrusor:** J-Head Mk-IV, Aguja de 0.5, Plástico de 3 mm.
- **Nacimiento:** 10/Ene/2013
- **Propiedad de:** Asociación de Robótica de la UC3M

**Figura 16. HIJA**

Para diseñar las piezas a imprimir se requiere de una serie de procedimientos. El primer paso es generar un archivo .STL para que luego el software de la impresora pueda descomponer la pieza en las capas, las cuales utilizará para la impresión.

Para ello se ha utilizado el programa de dibujo 3D Google SketchUp versión 8 (figura 17), al que se le ha tenido que instalar un plugin para exportar la figura a un archivo con extensión .STL. La razón de utilizar este programa es que es muy visual y sencillo, a la hora de crear las piezas, a diferencia de otros que necesitan de una programación para su diseño.

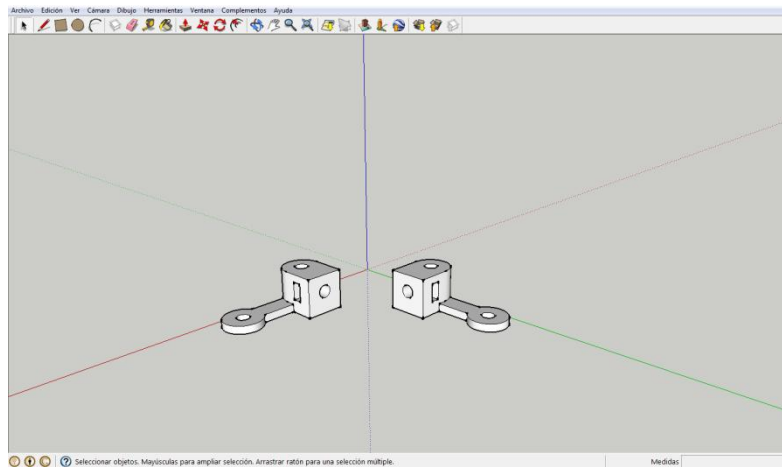


Figura 17. Google SketchUp 8

El programa que se ha utilizado para que la impresora pueda descomponer la pieza en las diferentes capas y calcular los recorridos que ha de hacer el extrusor es Repetier-Host versión 0.90B (figura 18).

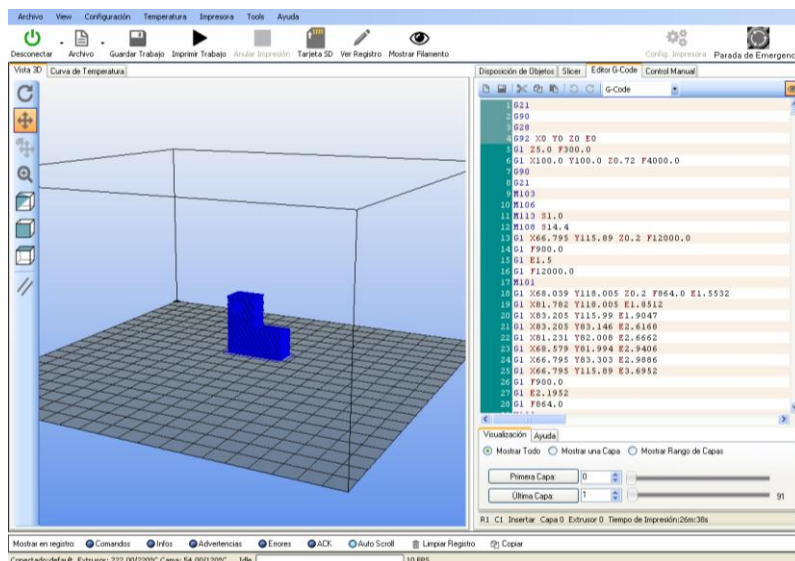


Figura 18. Repetier-Host 0.90B

## 3.2 Arduino

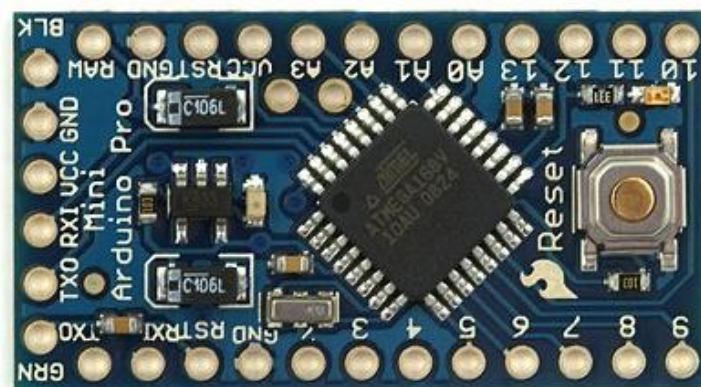
Arduino [1] es una plataforma que se utiliza para la creación de proyectos, con un entorno de programación y hardware libre de fácil utilización, debido fundamentalmente al IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) tan intuitivo que utiliza, como al lenguaje de programación.

Se trata de un proyecto educativo nacido en 2005 en Italia y aunque en un principio no se pensó en un medio de negocio, a día de hoy se venden en todo el mundo.

El que sea un entorno abierto, con un hardware económico y capaz de trabajar en todas las plataformas (Linux, Mac OS X y Windows), implica que los programadores puedan compartir con la comunidad de usuarios los conocimientos adquiridos, mediante foros, blogs o páginas web, ampliando así, las posibilidades que ofrece este entorno a nivel mundial.

Existen muchos tipos de modelos de placas Arduino: Arduino UNO, Leonardo, Mega, o Nano entre las más conocidas y usadas.

Para este proyecto se ha utilizado el módulo Arduino Pro Mini, que al igual que la placa Arduino UNO, consta de 14 pines digitales I/O, de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM, 8 entradas analógicas y una de 16 MHz del oscilador de cristal.



**Figura 19. Módulo Arduino Pro Mini**

Existen dos versiones de la Pro Mini, una que funciona a 3.3V y 8MHz y otra de 5V y 16MHz, esta última es la que ha sido utilizada en este proyecto.

La diferencia principal del modelo Pro Mini (figura 19) frente a otras placas Arduino es su reducido tamaño (32 x 18 mm. aprox.) y la facilidad con que puede ser acoplado a diferentes placas comerciales o fabricadas con un diseño propio, como es el caso de este proyecto (véase apartado 6.4.2). La placa se suministra sin conectores montados, permitiendo el uso de varios tipos o el soldado directo de cables según las necesidades de cada proyecto en particular.

El reducido tamaño del módulo es debido fundamentalmente a los pequeños condensadores, microprocesador y cristal que utiliza; a que no incorpora un puerto serial USB con sus correspondientes elementos que transforman la señal recibida y a que no posee un adaptador *jack* con el que poder alimentar la placa externamente.

La manera de poder cargar los programas a la placa es mediante el puerto serial TXO y RXI (transmisión y recepción de datos) y para ello se utiliza un cable adaptador USB a serie FTDI (figura 20) o en su defecto un módulo adaptador (figura 21) para dotarla de comunicación USB y alimentación.



Figura 20. Cable adaptador FTDI

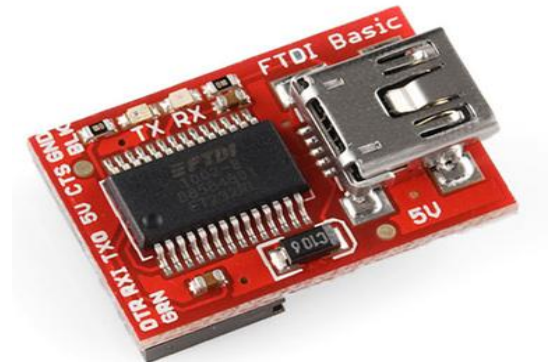


Figura 21. Módulo adaptador

Arduino trabaja con un lenguaje de programación propio, sin embargo es posible utilizar otros lenguajes y aplicaciones populares, por ejemplo C, C++, C#, Java, Flash o Ruby entre otros muchos. Esto es posible gracias a que dichos lenguajes de programación soportan la transmisión de datos en formato serie, que es la forma que tiene Arduino de comunicarse.

Como ya se ha comentado anteriormente, uno de los atractivos de Arduino es su IDE intuitiva y sencilla. Para este proyecto se ha utilizado la versión 0023 (figura 22), que si bien no es la versión más actual, es una de las más estables.

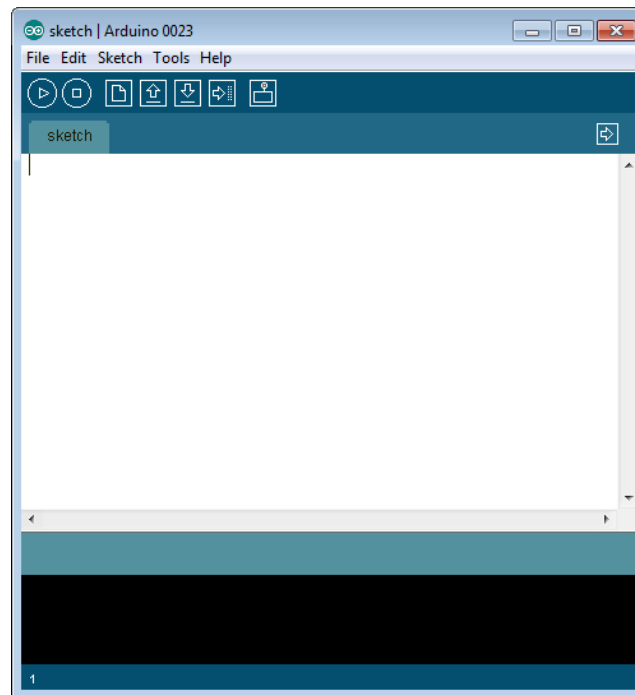


Figura 22. IDE Arduino 0023

Como se puede observar en la figura anterior, el entorno de desarrollo consta de 7 botones principales:

- **Verify:** Verifica que el código escrito no tenga ningún fallo que impida su ejecución.
- **Stop:** Detiene la compilación.
- **New:** Crea un nuevo sketch.
- **Open:** Abre un sketch guardado.
- **Save:** Guarda el sketch con formato *.pde* en la ruta que se indique
- **Upload:** Subirá el programa a la placa al mismo tiempo que realiza un proceso de verificación.
- **Serial Monitor:** Genera una segunda ventana donde el usuario podrá comunicarse con la tarjeta Arduino y viceversa, mediante los comandos *Serial*.

A su vez se podrá elegir el tipo de placa que se esté utilizando y el puerto COM al que se ha conectado.



### 3.3 Smartphone

Un *smartphone* o teléfono inteligente es un dispositivo móvil con una capacidad de almacenamiento mayor de datos, capaz de conectarse a distintos tipos de redes (Wifi, Bluetooth, de datos o telefónica), de usar funciones multimedia o de realizar multitareas entre otras muchas cosas, lo que convierten a estos dispositivos en pequeños ordenadores de bolsillo.

El éxito que están teniendo los dispositivos inteligentes es debido, en parte, a la gran variedad que existen en el mercado (figura 23): *smartphone*, *tablet*, *phablet* o los recientes *smartwatch*; a las distintas marcas que los distribuyen: Samsung, Apple, LG, Nokia, etc.; y al tipo de sistema operativo que utilizan: Android, iOS, Windows Phone o BlackBerry OS entre otros.



Figura 23. Comparativa entre dispositivos inteligentes

Aunque en un inicio Android iba a ser un sistema operativo para cámaras fotográficas inteligentes, a finales de 2007 Google anunció su entrada en el mercado de la telefonía móvil con este sistema operativo.

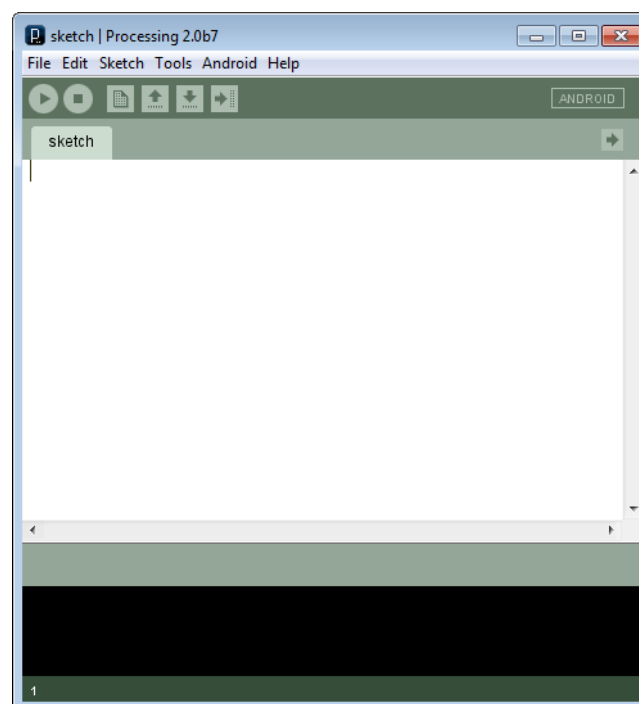
En poco tiempo Android está siendo parte de estos dispositivos, debido a que este sistema está instalado en varias marcas de móviles y que se trata de un software libre, lo que hace que muchos programadores se interesen por este sistema ya que se trata de una fuente de aprendizaje y desarrollo común.

Esto puede verse reflejado en la siguiente tabla, realizada por los analistas de IDC donde compara los resultados obtenidos en cuanto a ventas, en el segundo cuatrimestre del año 2013 respecto a los del 2012 [5].

**Top Smartphone Operating Systems, Shipments, and Market Share, Q2 2013 (Units in Millions)**

Operating System	2Q13 Unit Shipments	2Q13 Market Share	2Q12 Unit Shipments	2Q12 Market Share	Year-over-Year Change
Android	187.4	79.3%	108	69.1%	73.5%
iOS	31.2	13.2%	26	16.6%	20.0%
Windows Phone	8.7	3.7%	4.9	3.1%	77.6%
BlackBerry OS	6.8	2.9%	7.7	4.9%	-11.7%
Linux	1.8	0.8%	2.8	1.8%	-35.7%
Symbian	0.5	0.2%	6.5	4.2%	-92.3%
Others	N/A	0.0%	0.3	0.2%	-100.0%
<b>Total</b>	<b>236.4</b>	<b>100.0%</b>	<b>156.2</b>	<b>100.0%</b>	<b>51.3%</b>

Como mando de control se ha utilizado para este proyecto un *smartphone* con sistema operativo Android versión Gingerbread 2.3.5, y para programar la aplicación se ha utilizado el IDE de Processing versión 2.0b7 (figura 24) [10], pudiendo acceder de forma sencilla a los sensores del dispositivo como el acelerómetro o el Bluetooth y a diversas funciones de pantalla.



**Figura 24. IDE Processing 2.0b7**



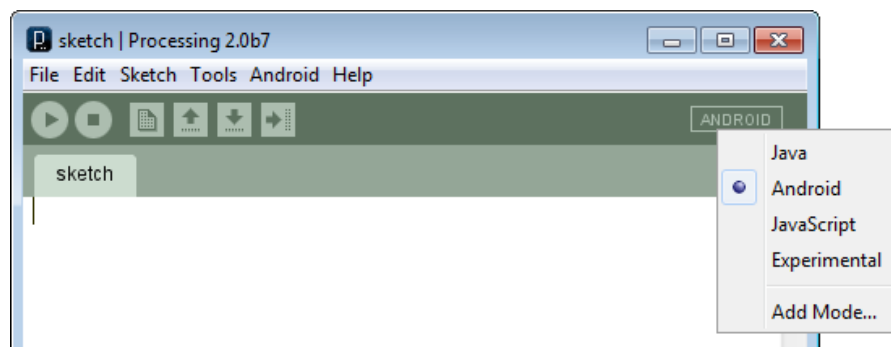
El proyecto Processing nace a finales de 2001 creado por Ben Fry y Casey Reas, cuyo principal objetivo era crear una herramienta que permitiera elaborar de manera rápida sketches de aplicaciones. La ventaja de Processing es que el entorno de programación es más sencillo e intuitivo que los habituales en Java.

Al igual que Arduino, Processing posee una licencia de código abierto y puede instalarse en las diferentes plataformas de Linux, Mac OS X y Windows.

Puesto que el lenguaje de programación está basado en Java, permite la ejecución de los sketches dentro de navegadores, como aplicaciones de escritorio o utilizarlos como un sistema de comunicación visual con la plataforma Arduino, pudiendo interactuar de una forma más dinámica.

A finales del mes de septiembre de 2005 se lanzó la primera versión de Processing capaz de ser ejecutada en dispositivos móviles gracias a J2ME. La razón de utilizar Mobile Processing es que ofrece un entorno de desarrollo muy sencillo y no requiere un gran conocimiento de las distintas plataformas actuales. Además posee un API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) de alto nivel para el manejo de las opciones gráficas, sonoras y otras características, como conexiones inalámbricas.

Con un entorno muy similar al de Arduino, se pueden observar 7 botones principales (figura 25).



**Figura 25. Botonera de Processing 2.0b7**

- **Run on Device:** Permite compilar y ejecutar la aplicación en el dispositivo móvil.
- **Stop:** Detiene el proceso de verificación.
- **New:** Crea un nuevo sketch.
- **Open:** Abre un sketch guardado.

- **Save:** Guarda el sketch
- **Export Signed Package:** Permite exportar la aplicación a formato .apk.
- Al pulsar sobre el último botón se puede cambiar la opción del modo entre Java, Android, JavaScript y uno Experimental.

### 3.4 Módulo Bluetooth

Para este proyecto se ha utilizado un módulo Bluetooth modelo JY-MCU y versión 1.05 (figura 26). Es un elemento imprescindible, pues es el que hace posible la comunicación inalámbrica entre la plataforma Arduino y el smartphone.

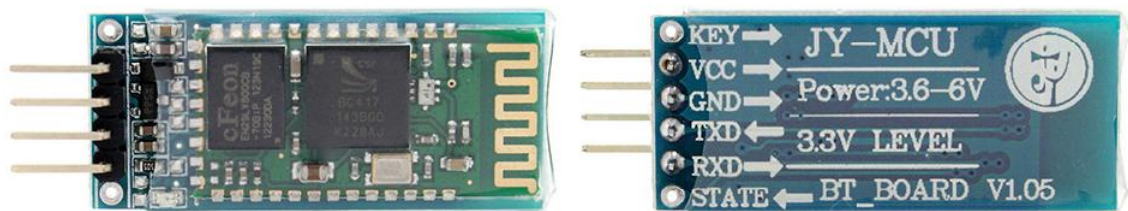


Figura 26. Módulo bluetooth JY-MCU

Se ha escogido este módulo por sus reducidas dimensiones (35 x 15 mm. aprox.) y fácil conexionado a la placa Arduino.

Al conectarlo a una tensión de entrada de entre 3,6 y 6 V el módulo puede ser detectado por otro dispositivo que posea un sistema Bluetooth, pero para que se produzca la comunicación serie ha de tener conectados los pines TXD y RXD encargados de la transmisión y recepción de datos.

### 3.5 Alimentación

Como fuente de alimentación se han utilizado 4 pilas Ni – MH de 1,2 V cada una y 2700 mAh (figura 27).



**Figura 27. Baterías Ni – MH**

Las baterías de Ni – MH (níquel – hidruro metálico) son una evolución de las Ni – Cd. No utilizan el cadmio, que además de ser más caro, representa un peligro para el medio ambiente. Del mismo modo, poseen una mayor capacidad de carga y un menor efecto memoria.

Otra de las ventajas de usar baterías de Ni – MH es que no requieren un cuidado especial en el momento de recargarlas, a diferencia de otro tipo de baterías. Además, como el voltaje total es de 4,8 V no es necesaria la instalación de un regulador de tensión, pues está dentro del rango de funcionamiento de todos los elementos electrónicos utilizados. Se ha escogido una carga eléctrica de 2700 mAh para asegurar una buena autonomía al vehículo.

Las baterías se instalan en un portapilas (figura 28) que va sujeto a la parte posterior de la base del vehículo.



**Figura 28. Portapilas**

### 3.6 Servomotores

Un servomotor o servo (figura 29) es un dispositivo que dispone de un motor de corriente continua, una caja reductora y una pequeña placa electrónica a la cual va conectado un potenciómetro. Gracias a ese potenciómetro se puede determinar y controlar la posición en la que se encuentra el servo en grados.



Figura 29. Servomotores

Hay muchos tipos de servos en cuanto a su tamaño, si la electrónica que utilizan es analógica o digital, o por su ángulo de giro de 180° o 360°.

La señal de control se genera mediante modulación por ancho de pulso (PWM). Si el pulso es de 1,5 ms mantiene el servo en la posición centrada, si el pulso es mayor girará a la derecha y si es menor girará a la izquierda. La información del pulso se mandará cada 20 ms.

Para este proyecto se han utilizado 3 servos Futaba S3003 (figura 30) a los que, a dos de ellos, se les ha tenido que aplicar una serie de modificaciones para transformarlos en servos de rotación continua y poder controlar tanto la velocidad como el sentido de giro. Estas modificaciones consisten en eliminar la pestaña que impide el movimiento de 360° y sustituir el potenciómetro por un par de resistencias de 2,2 k $\Omega$  cada una, o por un potenciómetro multivuelta de 5 k $\Omega$  para poder calibrarlo. El motivo principal de utilizar un servo de 180° modificado ha sido por tener un coste económico menor que uno de rotación continua original.

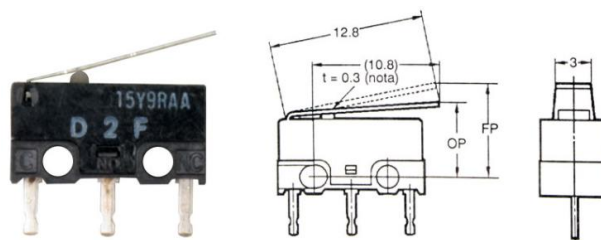


**Figura 30. Servo Futaba S3003**

El servo Futaba S3003 posee unas características que lo hace adecuado para el uso que se necesita en este proyecto. Requiere de una tensión de entrada de 4 a 8 V, tiene un peso de 44,4 g. y un torque de 3,2 Kg / 4.8V o 4,1 Kg / 6V.

### 3.7 Final de carrera

Un final de carrera o sensor de contacto (figura 31) es un dispositivo capaz de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito al ser activados. Generalmente suelen estar situados al final del recorrido de un elemento móvil, como es el caso del presente proyecto, y provocan un paro automático del mismo.



**Figura 31. Final de carrera miniatura**

El final de carrera utilizado puede trabajar a 1A /125Vcc y posee unas patillas conectadas a 3 tipos de interruptores:

- Normalmente abierto (NA o NO)
- Normalmente cerrado (NC)
- Conmutador

### 3.8 Cadena de transmisión

Para el sistema de elevación se ha utilizado una cadena de transmisión [8] (figura 32) de 44 cm.



**Figura 32. Cadena de transmisión**

Se trata de una cadena de acero galvanizado con un ancho exterior de 10mm., un ancho interior de 7 mm. y un espacio entre eslabones de 6 mm.

La razón de utilizar una cadena en vez de una correa es porque la cadena soporta mayores pesos y es más duradera.

### 3.9 Plancha DM

Como base del vehículo para soportar todos los elementos necesarios, se ha utilizado una plancha de DM (figura 33) de 4 mm. de espesor.



**Figura 33. Tableros DM**

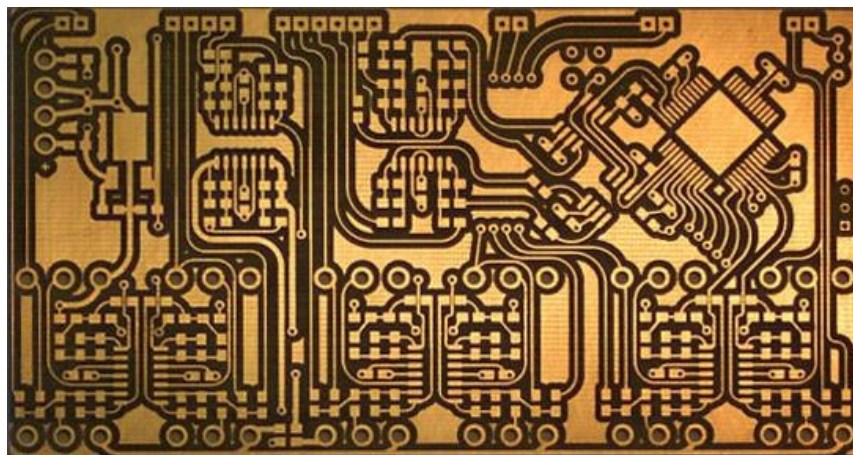


Un tablero DM (densidad media) está compuesto por fibras de madera aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor en seco.

La razón principal de utilizar este material en vez de uno plástico o metálico, es su bajo coste económico y la facilidad de manipulación al realizar cortes o taladros, a la vez que presenta una estructura no conductora, uniforme y homogénea con una textura fina, lo que permite un acabado perfecto.

### 3.10 Placa de circuito impreso (PCB)

Una placa de circuito impreso (figura 34) consta de unas pistas de un material conductor, generalmente cobre y de una base no conductora, que puede estar fabricada de resinas, fibra de vidrio, teflón, plásticos o polímeros.



**Figura 34. Placa de circuito impreso (PCB)**

Las PCBs sirven para concentrar todos los elementos que se quieren conectar en una placa, consiguiendo mejorar la organización de los componentes y evitar tener que usar cables que hagan la función de conductores.

La forma de fijar los componentes a la placa puede ser de dos formas, o taladrando la placa y soldándolos por uno de los lados, o si el componente es muy pequeño soldándolo superficialmente.

La producción de las PCBs y el montaje de los componentes pueden ser automatizados, de manera que si se requiere una producción en masa sean más económicas y de mayor calidad.

A continuación se describen algunas de las técnicas más usadas para la fabricación de las PCBs:

- **Técnica de la tinta indeleble:** Consiste en marcar las pistas que se deseen sobre la parte de cobre de la tarjeta con un rotulador de tinta indeleble. A continuación se sumerge la placa en una solución corrosiva de cloruro férrico disuelto en agua caliente. Esta solución elimina el cobre dejando solamente las pistas de cobre cubiertas por la tinta. La ventaja de esta técnica es que es muy sencilla y económica, sin embargo la precisión y calidad no es muy buena.

- **Técnica de planchado:** Tras diseñar el circuito en el ordenador, con una impresora de láser se imprime el documento en un papel termo transferible en modo espejo. A continuación se corta la impresión y la placa de cobre virgen al mismo tamaño. Después se coloca un folio y el circuito impreso sobre la parte de cobre de la tarjeta, y con una plancha eléctrica se le proporciona calor durante 15 minutos. A continuación se enfría la placa en agua y con cuidado se retiran los restos de papel adheridos. Por último se sumerge la placa en una solución corrosiva de cloruro férrico disuelto en agua caliente.

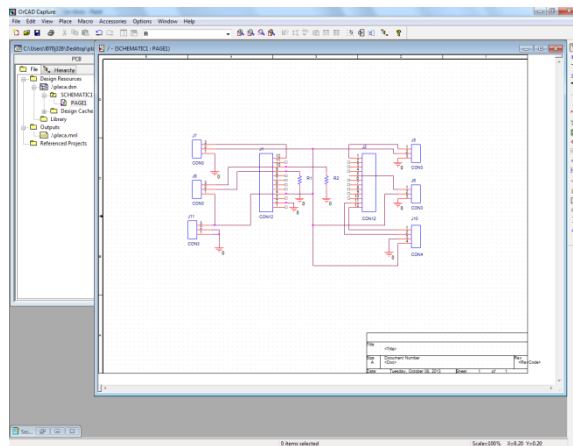
La ventaja de esta técnica frente a la anterior es que el resultado final tiene una mayor calidad.

- **Técnica de insolación:** Se imprime el fotolito en papel vegetal y bajo una luz tenue se coloca sobre el cristal de la insoladora y la placa fotosensible encima, de forma que el lado del cobre esté en contacto con la tinta del fotolito. Después de estar unos minutos bajo la luz actínica de la insoladora se revela la placa con un líquido revelador. Dicho líquido hace desaparecer la resina sobrante de la placa para finalmente atacar la placa con ácido como en los casos anteriores.
- **Técnica de la microfresadora:** Se parte de una placa que está totalmente recubierta de cobre por ambos lados, se utiliza una microfresadora de precisión para realizar los taladros. A continuación se mete la placa en un baño para metalizar los taladros mediante un proceso llamado galvanoplastia. Finalmente se vuelve a la microfresadora de precisión para eliminar el cobre que sobra dejando sólo las pistas del diseño.

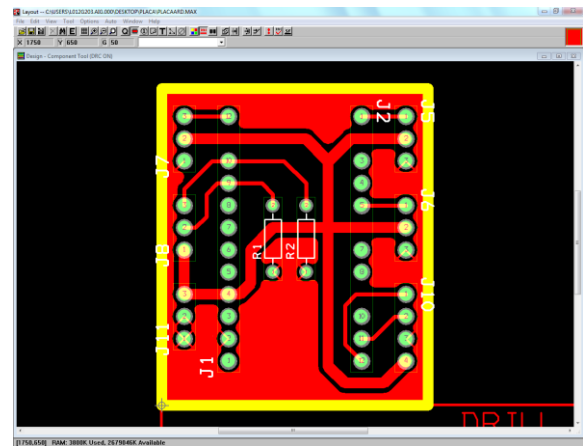
Este último método es el que se ha utilizado para la creación de la placa PCB usada en este proyecto. Ha sido construida por los técnicos de laboratorio de la Oficina Técnica Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid.



Para el diseño de la placa se ha utilizado un conjunto de programas de ORCAD [4].



### Figura 35. Orcad Capture



### Figura 36. Orcad Layout

Esta herramienta nos permite crear un circuito esquemático (figura 35) donde poder simular el comportamiento del circuito para posteriormente exportarlo y hacer de él un *layout* (figura 36) con el que poder imprimir el fotolito, el cual servirá para la creación de la placa PCB.

Para este proyecto se ha realizado una placa para mejorar la disposición de todos los elementos electrónicos que necesitan una conexión a la placa Arduino, como son los servomotores, el módulo Bluetooth, los finales de carrera y la alimentación.

### 3.11 Otros

Otros elementos y máquinas utilizados en este proyecto son:

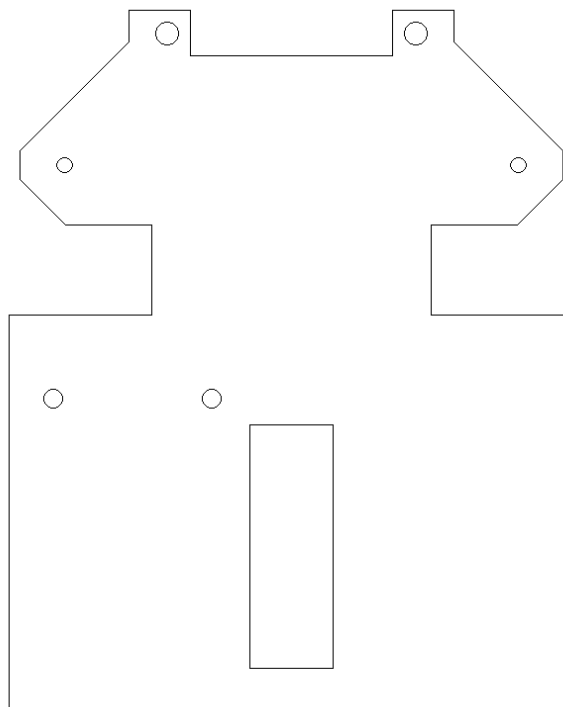
- 14 Tornillos, 20 tuercas y 22 arandelas para tornillos M4
- 3 Tubos de latón 4/6 mm.
- 2 Rodamientos
- 3 Piñones de 18 dientes.
- 1 Tira de aluminio perforado 135x15x1.5 mm.
- 1 Tira dentada flexible 20x100 mm.
- Cables para conexión
- Destornilladores
- Taladradora
- Lijas y limas
- Soldador de estaño

## 4. DISEÑO MECÁNICO

En el siguiente capítulo se detallará el diseño realizado para las partes mecánicas y electrónicas más importantes, como son el sistema de dirección, tracción y elevación.

### 4.1 Base

Para organizar, de la forma más eficaz, todos los elementos que componen el vehículo y lograr optimizar al máximo el espacio, se ha diseñado una base de DM con una forma específica, ajustándose al tamaño de los componentes y al radio de giro que realizan las ruedas delanteras (figura 37).



**Figura 37. Diseño de la base**

El diseño final ha sido llevado a cabo en distintas etapas:

- **Etapla 1:** Toma de medidas y situación de todos los elementos que han de ir anclados a la base.
- **Etapla 2:** Diseño básico en papel a mano alzada, donde corregir todos los fallos iniciales.
- **Etapla 3:** Segundo diseño en cartón para poder acoplar el sistema de dirección y elevación y, de esta manera, corroborar las medidas realizadas inicialmente.
- **Etapla 4:** Realización del dibujo final en la herramienta gráfica de ordenador Google SketchUp 8.
- **Etapla 5:** Impresión en papel y a tamaño real, y traspaso del dibujo a la plancha de DM.
- **Etapla 6:** Proceso de taladro, corte y lijado.

## 4.2 Dirección

La idea original de este proyecto era realizar un sistema holonómico [3], donde los diferentes grados de libertad están desacoplados permitiendo movimientos de rotación sobre su propio eje. La tracción y dirección recaerían sobre dos motores, situados de forma simétrica. De esta manera se evitaría tener que diseñar todo un sistema de dirección.

En un principio se observó que los dos servomotores giraban con pequeñas diferencias de velocidad, impidiendo que el vehículo pudiera realizar una trayectoria rectilínea. Se intentó calibrar los potenciómetros para que las ruedas girasen de forma sincronizada, incluso se trató de conseguir haciendo un puente en H, pero ninguna de estas pruebas dio los resultados esperados. Se llegó a la conclusión de que el problema era debido a las pequeñas diferencias de fabricación que había en las resistencias internas de los dos servomotores, por lo que se desestimó este método.

Otro procedimiento posible para conseguir un sistema holonómico (figura 38) era que la dirección y tracción estuvieran en la rueda trasera, mientras que las dos delanteras girasen libremente. Pero no se encontró un diseño que permitiese hacerlo en un espacio reducido y con un sistema mecánico sencillo para ahorrar tiempo y costes.

El sistema elegido es, por tanto, un sistema no-holonómico (figura 39), y aunque no permite realizar giros sobre su propio eje, si da la posibilidad de diseñar un sistema de dirección independiente al de tracción.



Figura 38. Sistema holonómico

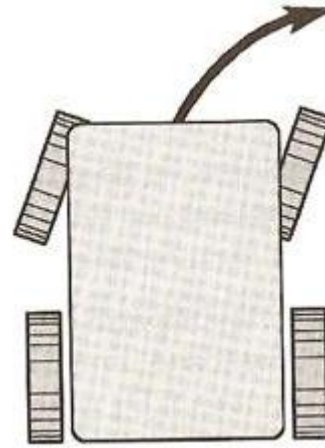


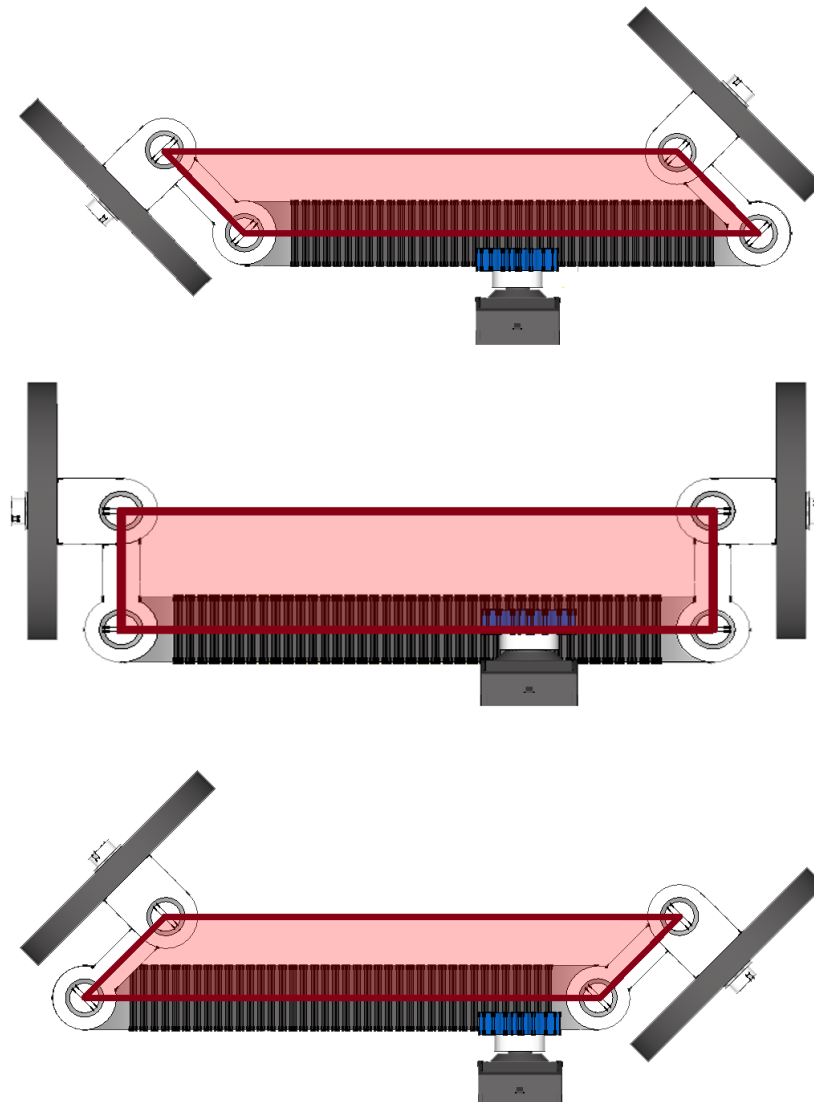
Figura 39. Sistema no-holonómico

Los sistemas de dirección estudiados que podían acoplarse al diseño son los siguientes:

- Sistema basado en una junta Cardán: Transmite el movimiento de giro de un eje a otro a pesar de encontrarse en ángulos distintos.
- Sistema Piñón-Cremallera: Es capaz de convertir un movimiento circular en uno lineal mediante el uso de un piñón y una barra rígida dentada.

Este último caso es el que se ha puesto en práctica en el presente proyecto, ya que es más sólido que el anterior.

Para que el conjunto realizase los menos movimientos posibles se ha diseñado un sistema en forma de paralelogramo (figura 40), de esta manera se consigue reducir los riesgos de un posible fallo.



**Figura 40. Dirección forma de paralelogramo**

### 4.3 Tracción

Al estar separado el sistema de dirección y el de tracción, se ha aprovechado para buscar el sistema más simple y eficaz que pudiese dotar al vehículo de la capacidad de movimiento. Para ello se ha optado por poner una rueda, situada en la parte trasera del vehículo, unida a un servomotor, el cual ha sido modificado para poder realizar giros de 360° y poder controlar su velocidad (figura 41).

La razón de poner una sola rueda es que, debido al sistema diseñado para controlar la dirección del vehículo, poner dos ruedas implicaría el diseño de un control diferencial en las ruedas motrices, ya que al realizar los giros, una rueda tendería a girar más rápido que la otra.

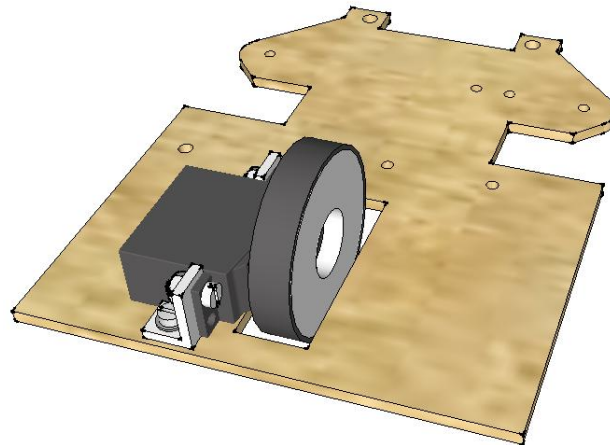


Figura 41. Sistema de tracción

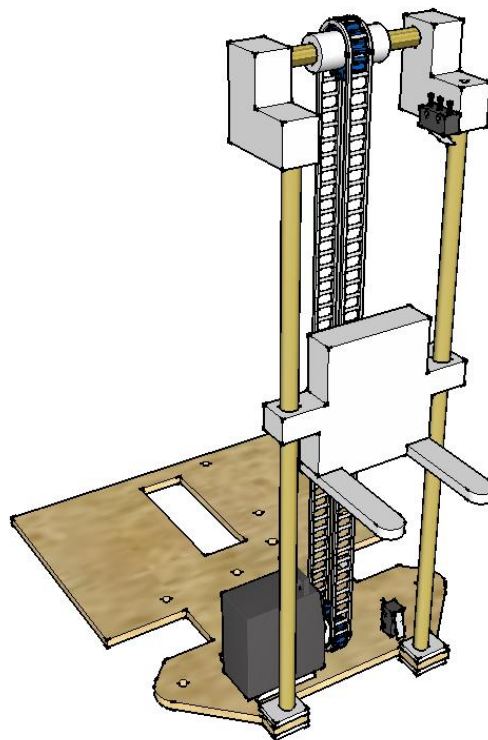
### 4.4 Elevación

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, se han estudiado distintos sistemas de elevación, y tras evaluar las ventajas y desventajas que implicaban cada uno de ellos (véase apartado 2.1), se ha llegado a la conclusión de implementar un sistema de elevación vertical.

Este sistema consiste en dos barras de latón verticales, ancladas a la base del vehículo, que hacen de guía al elemento portahorquillas. Estas dos guías se unen mediante dos piezas, construidas en la impresora 3D, a una barra horizontal de manera que los dos piñones queden en el mismo plano. El piñón inferior está unido a un servomotor de rotación continua mediante una pieza auxiliar, mientras que el superior gira libremente en la barra horizontal, disponiendo de dos topes para evitar su

desplazamiento lateral. Una cadena engrana en ambos piñones uniéndose al portahorquillas mediante un tornillo, consiguiendo de esa manera el desplazamiento vertical de la carga.

Como seguridad, se ha diseñado un sistema de parada basado en dos sensores de fin de carrera. De esta manera, el servomotor se detendrá automáticamente cuando el portahorquillas llegue a las posiciones finales de las guías, superior e inferior, impidiendo así que el motor realice un sobreesfuerzo al llegar a esa zona, y que el consumo de intensidad se incremente, pudiendo provocar que la placa de control interna se queme (figura 42).



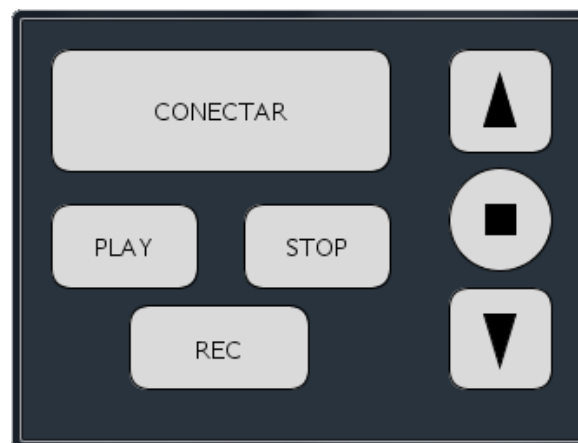
**Figura 42. Sistema de elevación**

## **5. DISEÑO DE SOFTWARE**

En los próximos tres apartados, se expone los tres elementos software: la aplicación Android, el programa de Arduino y el protocolo de comunicación que existe entre ambos.

### **5.1 Interfaz Móvil**

La interfaz para el dispositivo móvil consta de una pantalla principal (figura 43) que ha sido diseñada de forma ergonómica para un manejo cómodo e intuitivo, con la característica de ser multidispositivo lo que permite poder utilizarse en cualquier smartphone o tablet con un sistema operativo Android.



**Figura 43. Pantalla principal**

La programación ha sido estructurada en cuatro grandes grupos, pudiéndose identificar con facilidad en la estructura visual de la pantalla diseñada (figura 44).



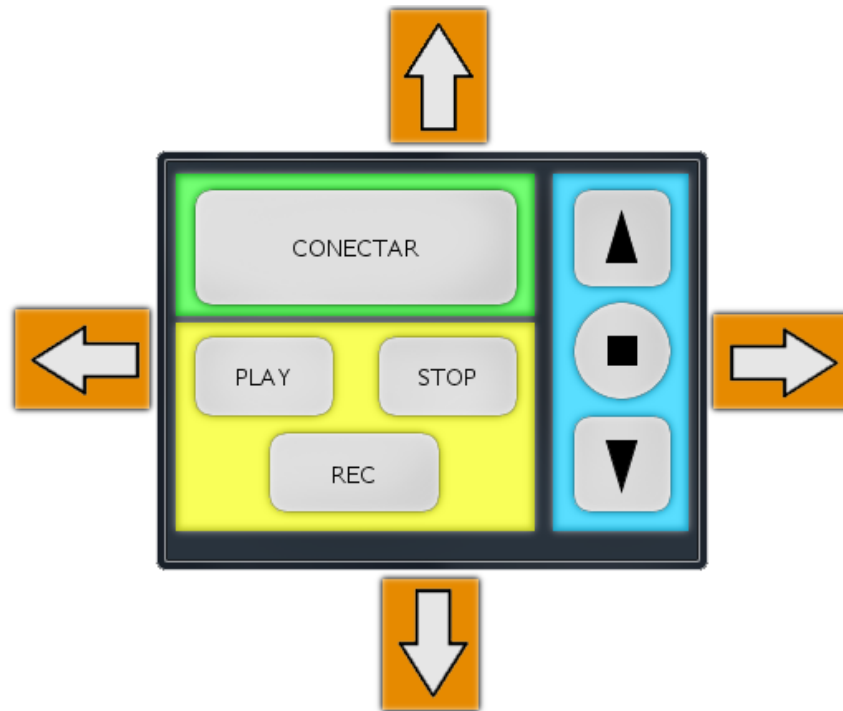


Figura 44. Representación de los grupos

### Grupo naranja

Representa los movimientos que se realizan con el dispositivo móvil y los datos correspondientes obtenidos del acelerómetro. Al inclinarlo hacia delante y hacia atrás, el vehículo avanza y retrocede, con la velocidad y sentido indicado en el valor Y, después de haber sido parametrizado. Del mismo modo, al inclinar el dispositivo hacia la izquierda y hacia la derecha, el vehículo gira en el sentido correspondiente, de acuerdo a los valores modificados de X.

### Grupo verde

Conlleva toda la lógica de la conectividad Bluetooth y consta de un único botón denominado *CONECTAR*. Al pulsarlo, cambia el texto a *DESCONECTAR* y el color a verde, indicando que se ha establecido la conexión entre el dispositivo móvil y el módulo Bluetooth (figura 45 a). En ese momento se empiezan a enviar los valores de X e Y parametrizados, obtenidos del acelerómetro, y Z de la elevación.

Es importante destacar que hasta que no se establece la comunicación Bluetooth con el módulo, la aplicación anula la funcionalidad de los demás botones.

### **Grupo amarillo**

Está relacionado con la programación relativa al almacenamiento de los datos pertenecientes al movimiento, en un fichero creado en la tarjeta de memoria externa del teléfono y su posterior reproducción.

Consta de tres botones principales:

- Si se presiona el botón *REC*, empieza a grabar los valores X, Y, Z en un fichero alojado en la tarjeta SD externa del dispositivo. Para indicar esta acción, se ha añadido una barra horizontal parpadeante, el color del botón cambia a rojo y el texto a *STOP\_REC*, de manera que para finalizar la grabación hay que volver a pulsar el botón (figura 45 b).
- Al pulsar el botón *PLAY*, comienza la lectura del archivo, previamente guardado, y envía los valores X, Y, Z de forma secuencial por Bluetooth, mientras que una barra verde indica la progresión de lectura. Para dar la posibilidad de pausar la reproducción, el texto cambia a *PAUSE* y el color del botón a amarillo (figura 45 c).

El botón *PAUSE* sirve para detener temporalmente la lectura del archivo. En el momento en que se presiona vuelve a su estado original y la barra de progresión se detiene cambiando a color amarillo (figura 45 d).

- El botón *STOP* puede ser pulsado en cualquier momento durante la reproducción del archivo o en el estado de pausa, esto finalizará la lectura de los valores almacenados y eliminará la barra de progresión, de manera que si se vuelve a reproducir el archivo empieza desde el principio.

### **Grupo azul**

Representa el control de elevación del portahorquillas, el cual se lleva a cabo mediante tres botones: subir, parar y bajar. Al pulsar sobre ellos se envía un valor de velocidad fijo, que posteriormente la placa interpreta.

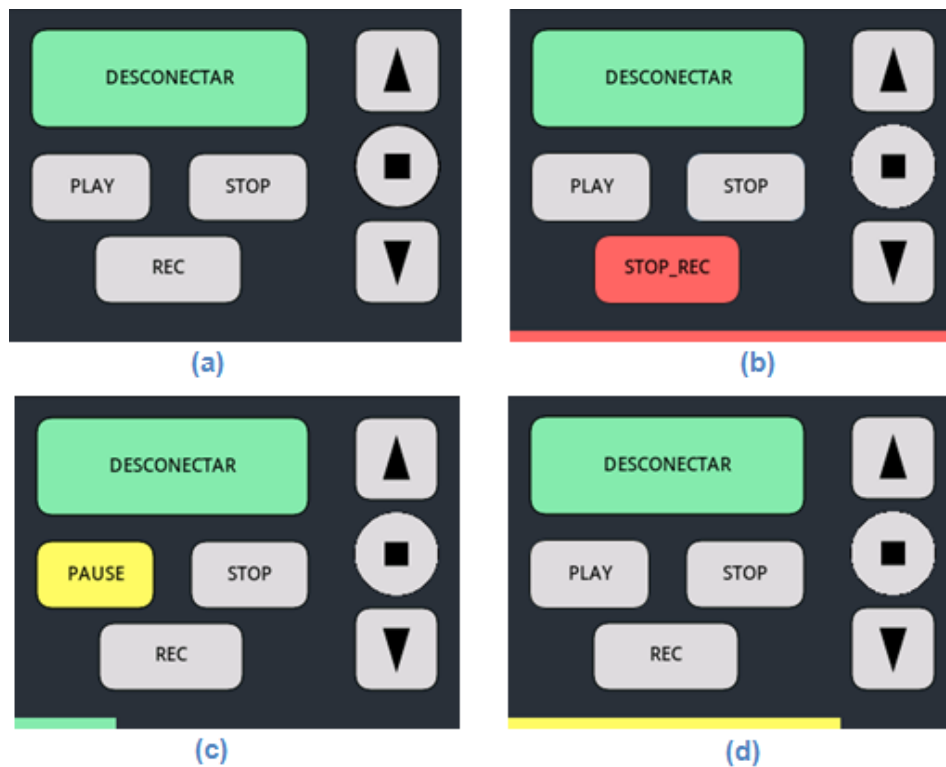


Figura 45. Cambios de estado de algunos botones

Tanto el botón de *STOP* como los relativos al control de la elevación, no cambian el texto o figura de su interior, pero sí al color azul. Esto se produce momentáneamente, para luego volver a su estado inicial.

Toda la secuencia descrita anteriormente puede verse gráficamente en el siguiente flujograma (figura 46).

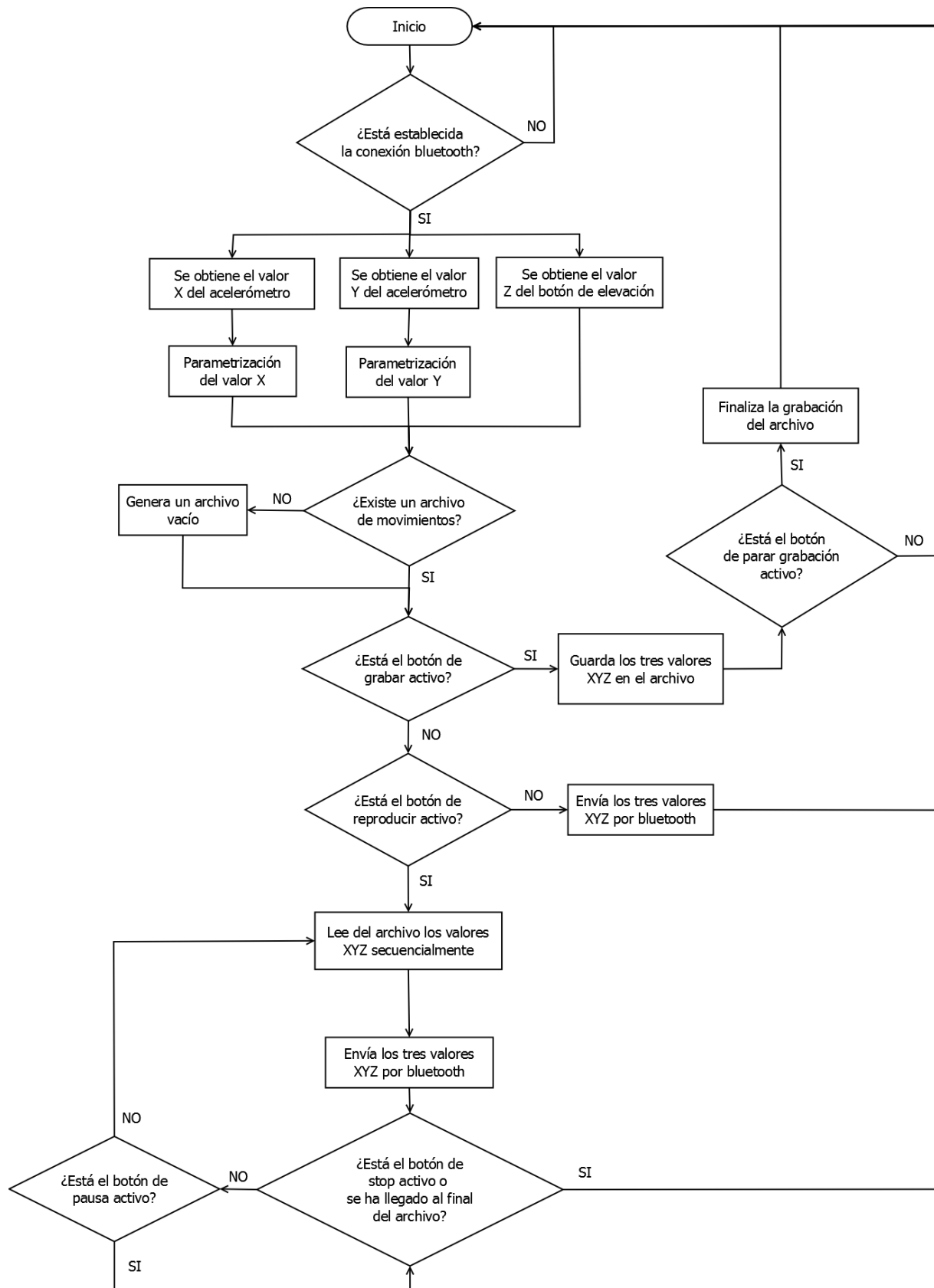


Figura 46. Flujograma de la aplicación Android

## 5.2 Programa de Arduino

El programa instalado en la placa Arduino se ha organizado en cinco clases para facilitar su estructura interna:

- **Vehículo:** es la clase principal y tiene tres funciones. Recibe los datos provenientes de la aplicación móvil mediante una comunicación Bluetooth. Determina qué acción tomar dependiendo de los datos recibidos. Utiliza la información obtenida de los finales de carrera.
- **Base:** es la clase intermedia que organiza las funciones de las distintas subclases.
- **Dirección:** primera subclase, encargada de mandar los grados recibidos al servo de dirección e indicar si hay que girar a la derecha, izquierda o por el contrario mantenerse recto.
- **Elevación:** segunda subclase, encargada de hacer que el servo se pare o gire en un sentido u otro con la misma velocidad y conseguir así que el portahorquillas se detenga, suba o baje.
- **Tracción:** tercera subclase, encargada de transmitir la información recibida al servo de tracción para que gire a velocidad y sentido indicado.
- **La clase Servo,** es una clase interna del programa a la que se hace referencia para poder manejar los distintos servomotores con mayor facilidad.

A continuación se muestra una figura donde se puede observar la distribución de estas clases y las distintas funciones que cada una de ellas utiliza (figura 47).

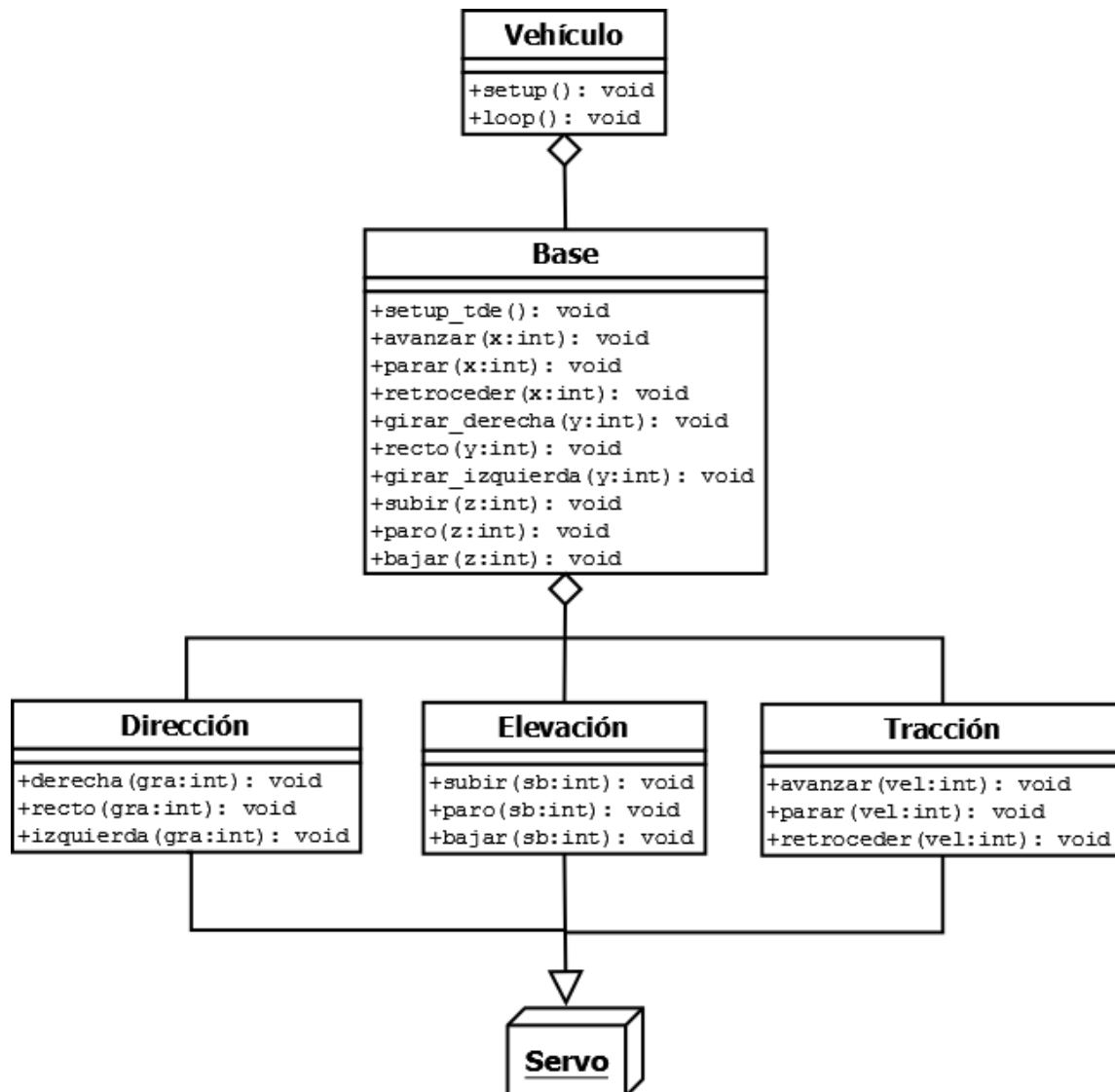


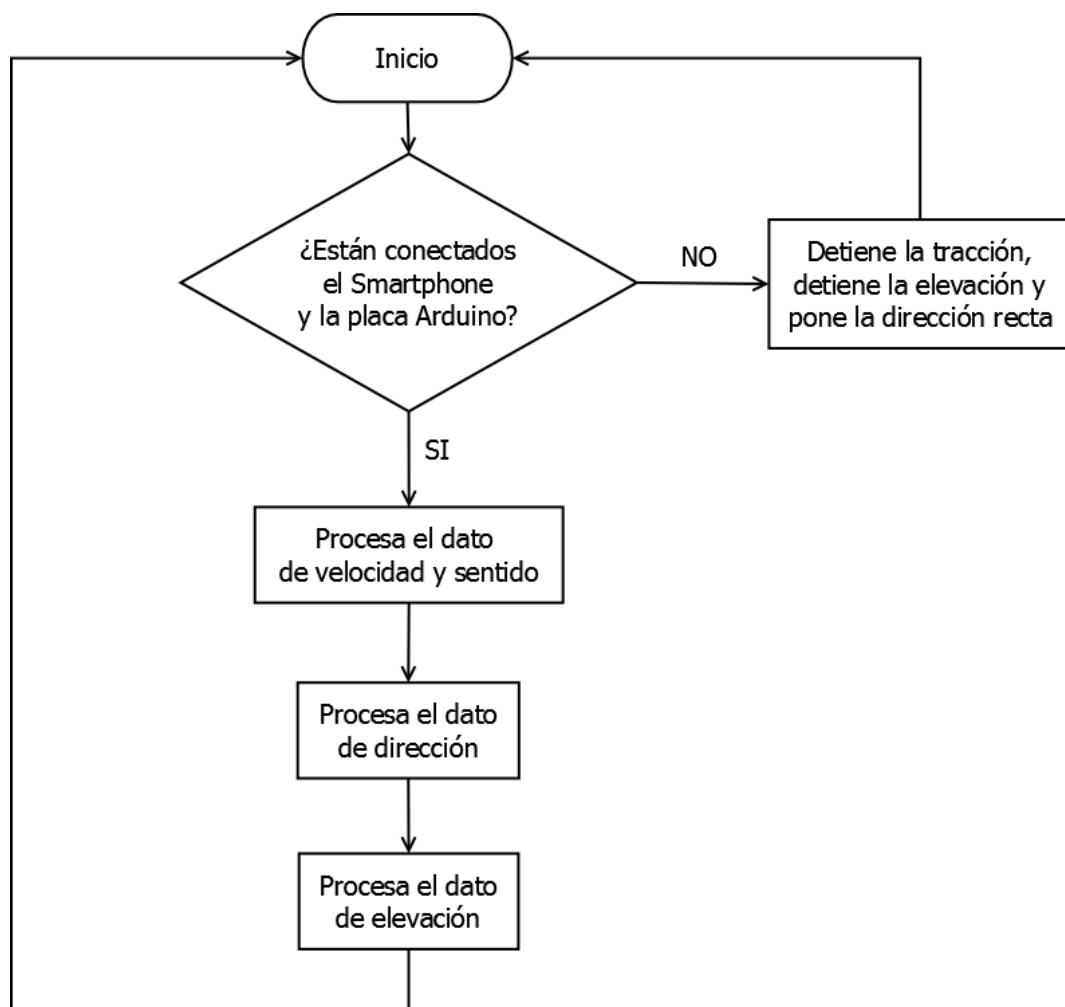
Figura 47. Diagrama de clases del programa de Arduino

Como apreciar, la clase principal *Vehículo* contiene dos funciones:

- `void setup()`: se utiliza para inicializar variables, librerías, establecer el estado de los pines, etc. Todo lo que se declare en el interior de esta función se ejecuta una vez al iniciar el programa.
- `void loop()`: esta función actúa en forma de bucle, repitiendo constantemente las instrucciones que posea hasta que la placa se desconecte de la alimentación.

Es importante destacar estas dos funciones frente al resto ya que en todo sketch de Arduino es obligatorio su uso y porque han sido determinantes para el desarrollo del programa.

En el siguiente diagrama de flujo (figura 48) se puede apreciar los pasos y la toma de decisiones que lleva a cabo el programa de Arduino.



**Figura 48. Flujograma del programa de Arduino**

El rango de valores que proporciona el acelerómetro para las coordenadas X, Y es de  $[-10, 10]$  y con la función `map()`, se puede escalar de forma proporcional al rango que se desee.

```
int X = (int) map(aX, -10, 10, 180, 0);  
int Y = (int) map(aY, -10, 10, 120, 60);
```

De esta manera al inclinar el dispositivo hacia delante, se estarán mandando los valores Y mayores que 90, y la placa interpreta que el vehículo ha de avanzar. A medida que el dato sea mayor la velocidad se irá incrementando hasta llegar al máximo programado. De la misma forma ocurre si el dato es menor que 90, con la diferencia que el vehículo retrocede. Si el valor es igual que 90 el vehículo se detendrá hasta recibir la orden contraria (figura 49).

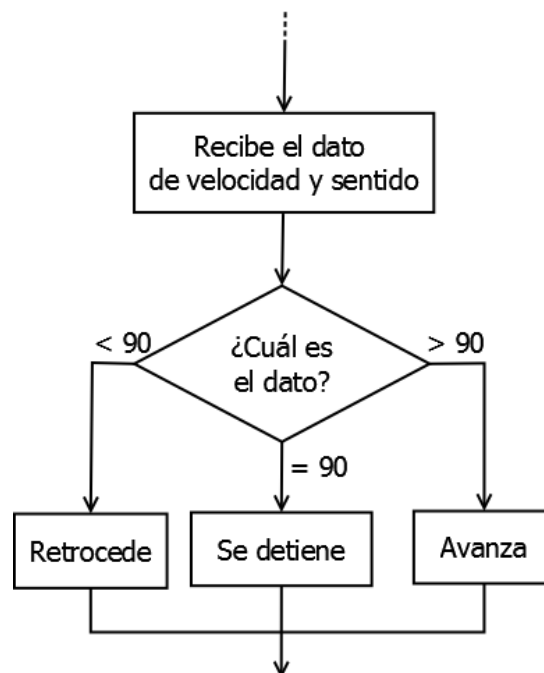
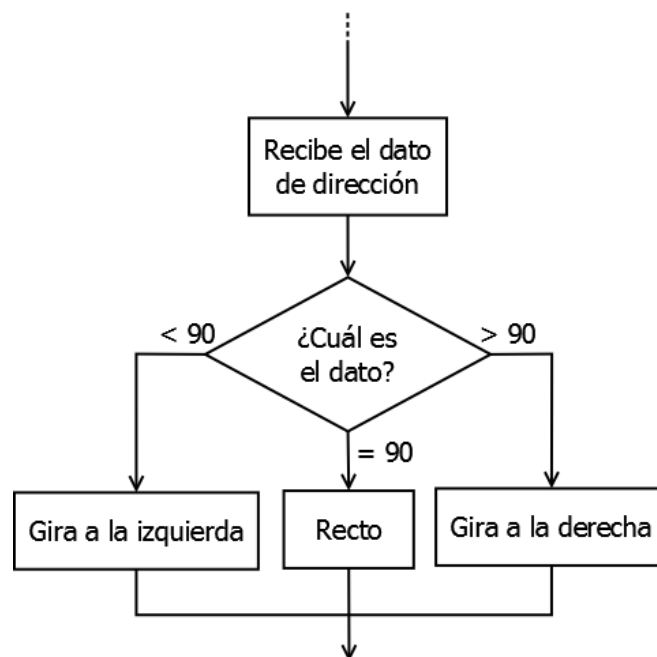


Figura 49. Flujograma del procesamiento de tracción



En el caso de la dirección, el servomotor no ha sido modificado, de manera que los valores que reciba serán directamente la posición que debe girar. Como el rango de giro del servomotor es  $[0, 180]$ , se ha aprovechado para parametrizar a esos valores el rango del acelerómetro. De esta forma al recibir un dato superior a 90, las ruedas girarán a la derecha, si el valor es igual a 90 permanecerán rectas y si es inferior se moverán a la izquierda (figura 50).



**Figura 50. Flujograma del procesamiento de dirección**

Los datos relativos a la elevación no es necesario parametrizarlos, ya que se obliga a enviar un valor fijo para cualquiera de las tres opciones. En el caso de que se pulse el botón de subir, la placa recibirá el número 100, haciendo que el servomotor gire en un sentido y permitiendo al portahorquillas ascender. Si por el contrario recibe el número 80, significa que el usuario ha pulsado el botón de bajar, y el servo girará en sentido contrario haciendo que el portahorquillas descienda. En el caso que el usuario pulse el botón de parar, la placa recibirá el número 90, y el servomotor se detendrá.

Si en algún momento el portahorquillas llega a algún final de carrera, superior o inferior, el servomotor se detendrá, y la única orden que tendrá en cuenta, será la de bajar o subir, respectivamente (figura 51).

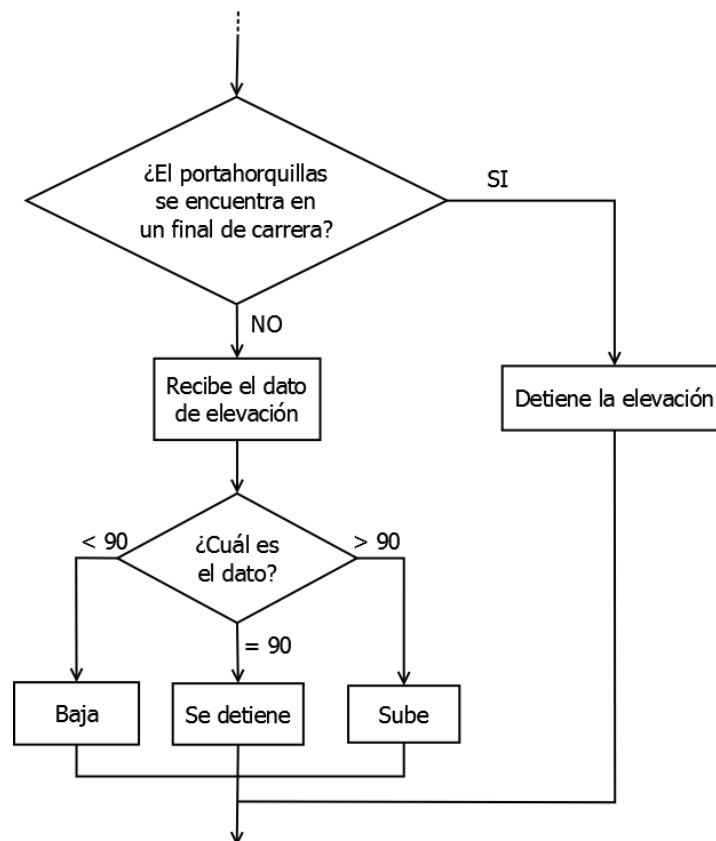


Figura 51. Flujograma del procesamiento de elevación

## 5.3 Protocolo de comunicación

Para establecer la comunicación entre el smartphone y la placa Arduino, se ha utilizado un módulo Bluetooth y se ha conectado de la siguiente forma (figura 52):

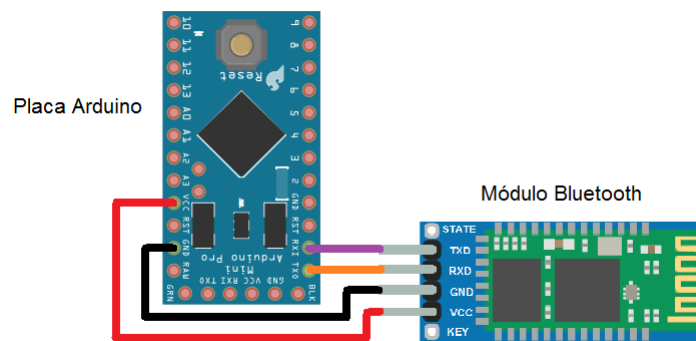
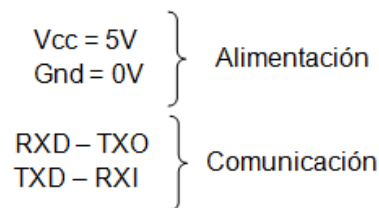


Figura 52. Conexión del módulo Bluetooth a la placa Arduino



Previamente a establecer por primera vez la conexión entre el smartphone y el módulo Bluetooth, hay que vincular los dos dispositivos. Para ello se tiene que acceder a los ajustes del teléfono, localizar la MAC (*“media access control”*) del módulo Bluetooth y por último introducir la clave, que por defecto es 1234. De esta manera ya se puede utilizar la aplicación sin necesidad de volver a vincularlos cada vez.

Si al abrir la aplicación no se tiene activada la opción de Bluetooth, se mostrará un cuadro de diálogo donde se pide al usuario una solicitud de permiso (figura 53). Si la respuesta es afirmativa se activará automáticamente, y si es negativa se mostrará un mensaje de error de conexión.



Figura 53. Imágenes de solicitud de permiso de Bluetooth

Una vez activada la opción Bluetooth y abierta la aplicación, si se pulsa sobre el botón *CONECTAR* se establecerá la conexión directamente con el módulo utilizado para este proyecto. Para ello es necesario indicarle por programación la MAC propia del dispositivo.

```
String dirMAC = "20:13:02:20:15:04";
```

Los tres valores relativos a la tracción, dirección y elevación, se guardarán en un array y se enviarán mediante la instrucción `ons.write()`. De manera sincronizada se recibirán los datos que se irán introduciendo en un array para su posterior análisis.

El envío y recepción de los valores puede observarse en las líneas de código izquierda y derecha respectivamente.

#### ANDROID

```
void envioDatos()
{
    try
    {
        for(int i=0; i<3; i++)
        {
            ons.write(arrXYZ[i]);
        }
    }
    catch(Exception ex)
    {
        estado = 2;
        error = ex.toString();
        println(error);
    }
}
```

#### ARDUINO

```
[...]

if (Serial.available()>0)
{
    for(int j=0; j<3; j++)
    {
        vge[j] = Serial.read();
    }
}

[...]
```

El funcionamiento del conjunto puede verse gráficamente en el siguiente diagrama de bloques (figura 54).

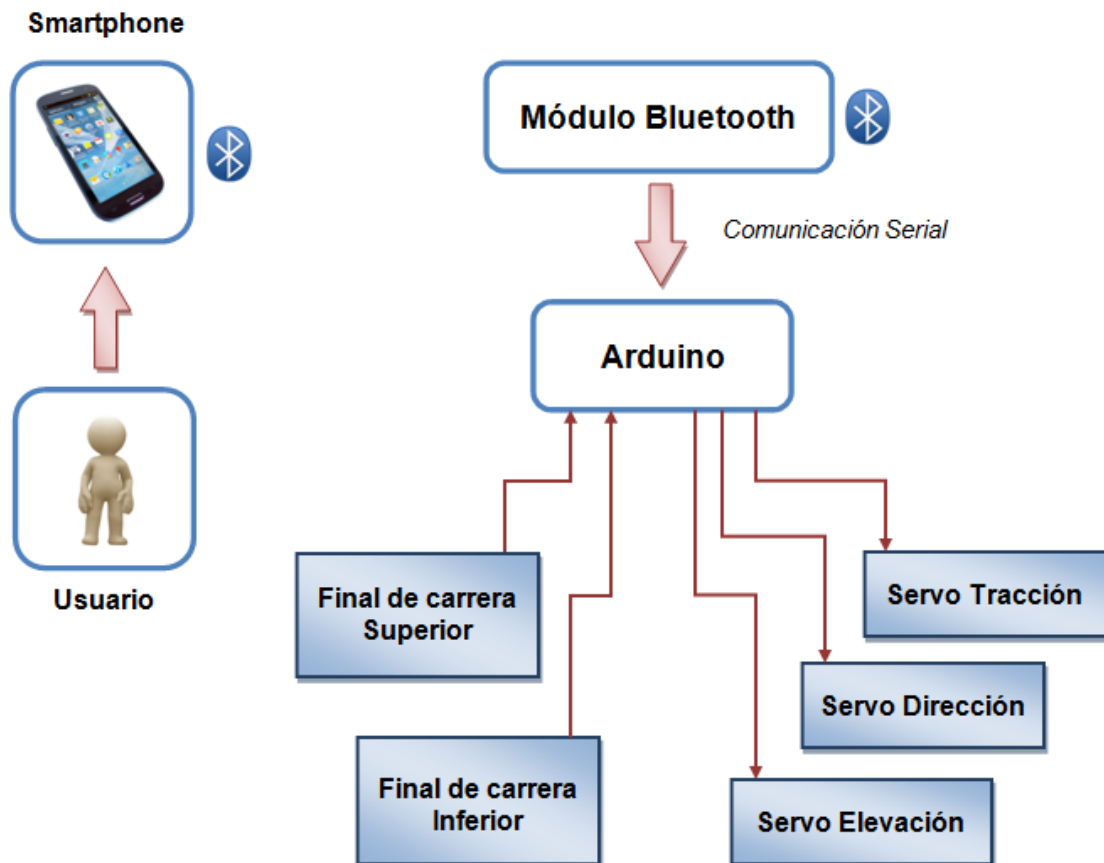


Figura 54. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema

## 6. FABRICACIÓN Y MONTAJE

En este capítulo se explicará cuál ha sido el procedimiento que se ha llevado a cabo para la fabricación y el montaje. Para ello, se ha dividido el capítulo en los 3 apartados más importantes de la mecánica del vehículo, la dirección, tracción y elevación.

Para cada apartado ha sido necesario diseñar y fabricar distintas piezas específicas que se ajustasen a las exigencias de cada situación. Por ello se ha utilizado el programa Google Sketchup para el diseño, y una impresora 3D para la fabricación. Todas las piezas impresas están hechas con plástico ABS, el cual se caracteriza por ser muy resistente y ligero.

### 6.1 Dirección

Para el sistema de dirección se han impreso 4 tipos de piezas: brazos, base 1, ruedas delanteras y casquillos. Para mayor información sobre las medidas correspondientes véase el apartado 1 del capítulo II. Planos.

#### 6.1.1 Brazos

Los brazos (figura 55) tienen la función de mantener las ruedas en su posición correcta y de conservar constantemente la forma del paralelogramo, necesario para el funcionamiento del sistema.

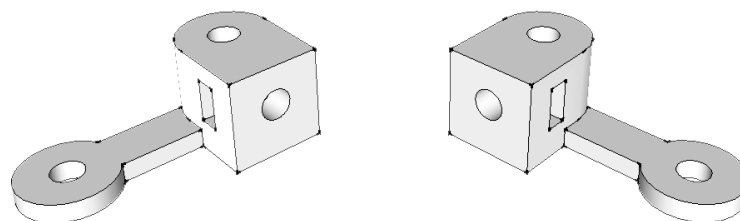
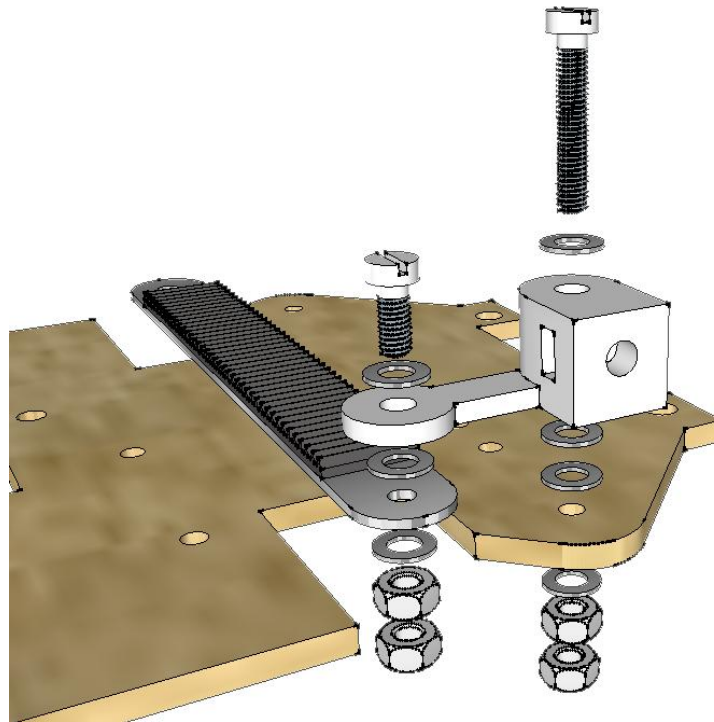


Figura 55. Brazo derecho e izquierdo

Cada brazo gira sobre la base del vehículo y sobre la tira de aluminio perforado, mediante dos tornillos que actúan como ejes. Para mantener fijos dichos tornillos y que a la vez puedan girar, se han usado dos tuercas que actúan de contratuerca la una con la otra. Debido a que la base y la tira de aluminio no están en el mismo plano, es necesario que debajo de cada brazo haya dos arandelas, de esta manera se consigue que la base del brazo esté totalmente horizontal permitiendo su giro.

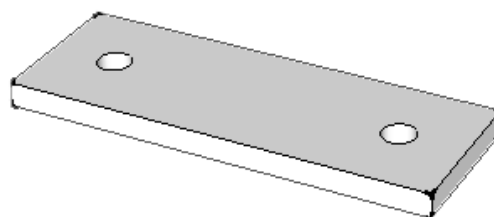
A continuación se muestra una figura donde se puede observar el orden correcto en el que deben ir instalados todos los elementos pertenecientes al movimiento de uno de los brazos (figura 56).



**Figura 56. Montaje de uno de los brazos**

### 6.1.2 Base 1

Para que el piñón y la cremallera puedan engranar correctamente, es necesario que se encuentren a la misma altura uno del otro, por esta razón se ha diseñado una pequeña base con las dimensiones adecuadas (figura 57) para poder alcanzar este propósito.



**Figura 57. Base 1**

En el caso de que alguno de los componentes del sistema de dirección fallase, por una avería o rotura, el servomotor se tiene que poder desacoplar de la base para poder desmontar el sistema. Para tal fin el servomotor va pegado a la Base 1, y ésta va unida a la base del vehículo mediante unos tornillos (figura 58).

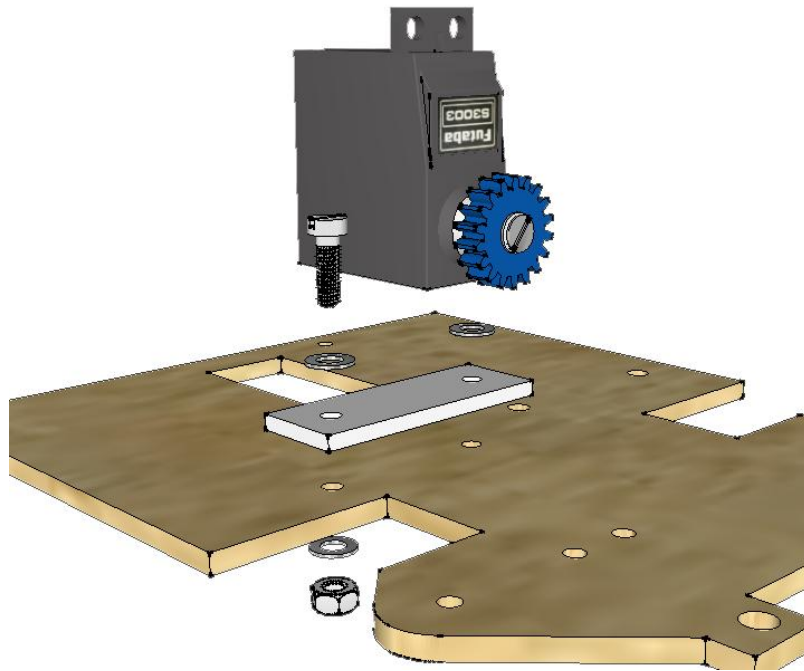


Figura 58. Montaje de la Base 1

### 6.1.3 Ruedas delanteras

Las ruedas delanteras son las encargadas de guiar al vehículo. Poseen el mismo diámetro exterior que la rueda de tracción pero son la mitad de anchas (figura 59).

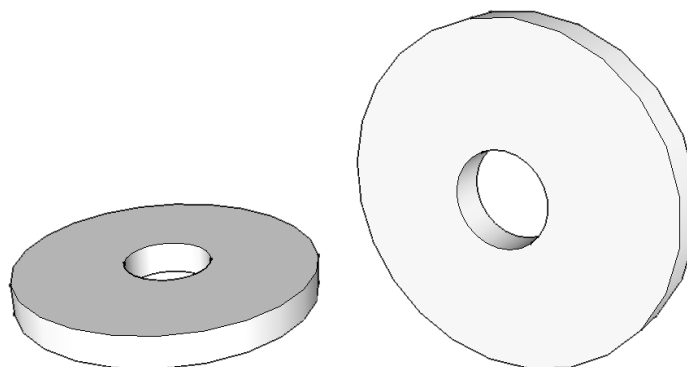
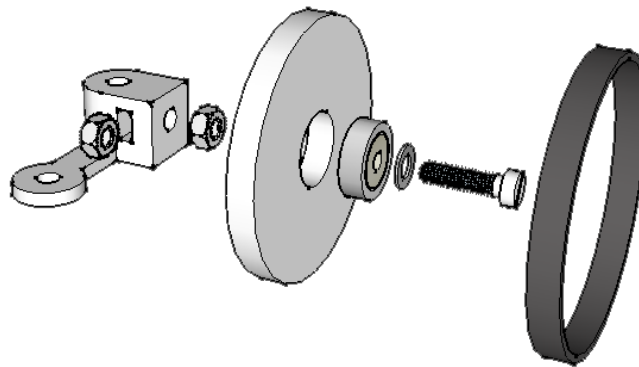


Figura 59. Ruedas delanteras



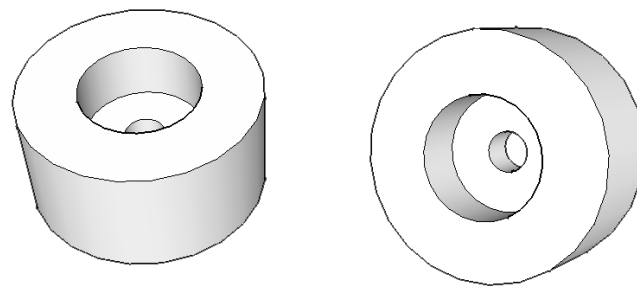
Tras barajar distintas posibilidades, se llegó a la conclusión de usar unos rodamientos como forma de giro. Para ello se han fabricado las ruedas con un agujero central, del tamaño del rodamiento, de manera que entrara a presión. Este conjunto se une al brazo mediante un tornillo de métrica 4 y dos tuercas, una que sirve para fijar el tornillo y la otra para separar la rueda del brazo y evitar roces que desvíen la rueda de su posición natural. Al igual que en la rueda de tracción, se ha instalado una goma para evitar el deslizamiento del vehículo (figura 60).



**Figura 60. Montaje de la rueda delantera**

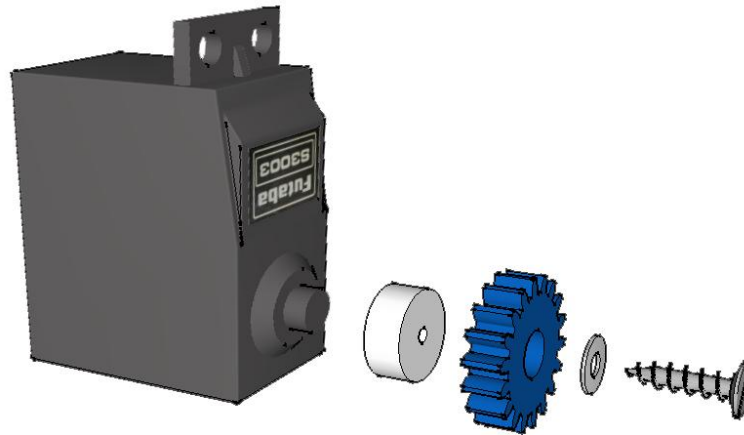
#### **6.1.4 Casquillos**

Se han fabricado dos casquillos iguales (figura 61), uno para el sistema de dirección y otro para el de elevación, cuya función principal es la de separar ligeramente el piñón del servo al que va acoplado para evitar roces.



**Figura 61. Casquillos**

Los casquillos van unidos a los servomotores a presión y afianzados con un tornillo y el piñón va pegado al casquillo (figura 62).



**Figura 62. Montaje del casquillo**

### 6.1.5 Cremallera

Aunque ninguna de las partes del sistema de cremallera han sido impresas, sí pertenecen al capítulo de dirección y han sufrido cambios para adaptarlas a este sistema concreto. Para ello se ha utilizado una tira de aluminio perforado que se ha cortado a medida y redondeado los bordes, y una tira dentada flexible adaptada. Para asegurar su unión se ha optado por pegarlas entre sí, puesto que en este caso es el método más sencillo (figura 63).



**Figura 63. Montaje de la cremallera**

## 6.2 Tracción

Para el sistema de tracción se han impreso 2 tipos de pizas: rueda trasea y L1/L2. Para mayor información sobre las medidas correspondientes véase el apartado 2 del capítulo II. Planos.

### 6.2.1 Rueda trasera

La rueda trasera (figura 64) al ser la encargada de la tracción del vehículo ha de estar sujeta al servomotor. De esta manera se ha fabricado una rueda con un diámetro específico para poder obtener la altura deseada y con un rebaje en el centro para poder acoplar una pieza auxiliar.

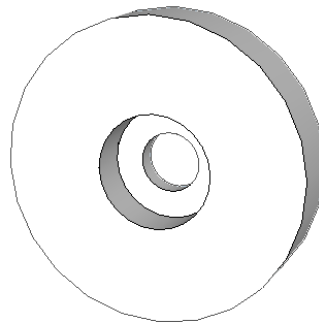


Figura 64. Rueda trasera

Como ya se ha comentado, esta rueda va acoplada al servo encargado de la tracción del vehículo. Para ello se ha pegado y atornillado a una pieza auxiliar que se incluía como uno de los accesorios para los servos Futaba S3003. A demás, para evitar que la rueda resbale sobre algunas superficies lisas, se le ha acoplado una banda elástica del ancho de la rueda.

El orden en que las piezas han de ir colocadas se muestra a continuación, en una figura donde se puede observar el despiece de la rueda trasera (figura 65).

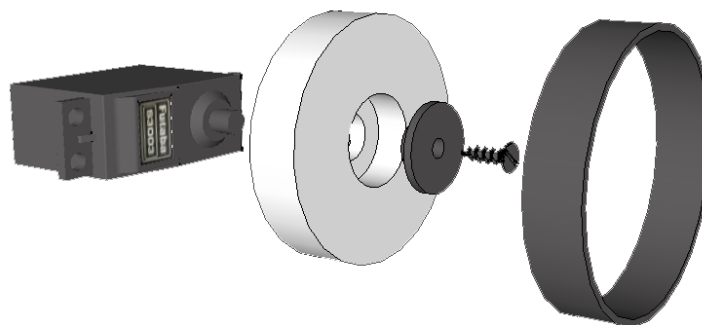
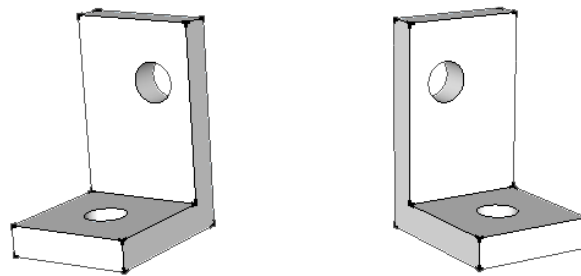


Figura 65. Montaje de la rueda trasera

### 6.2.2 L1 / L2

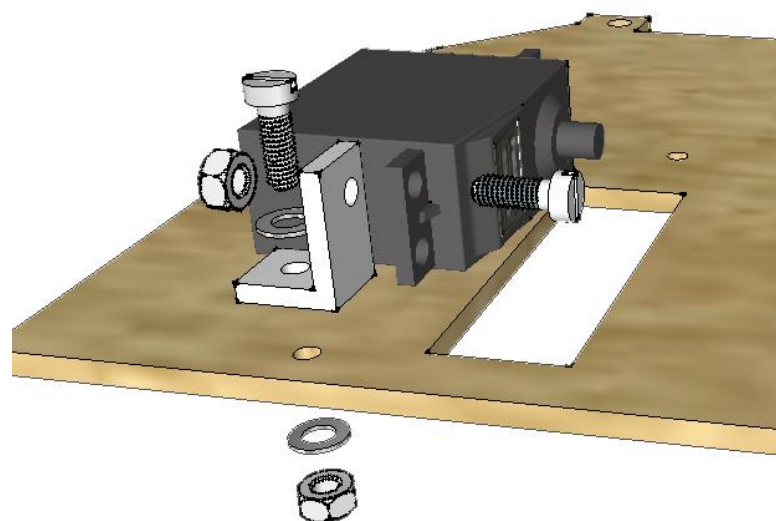
A diferencia del sistema de dirección y de elevación, en este caso el servomotor ha de ir apoyado directamente sobre la base de DM para que ésta se encuentre completamente en el plano horizontal. De esta manera se ha sustituido el diseño de una base adicional por el de dos piezas en forma de “L” (figura 66).



**Figura 66. L1 y L2**

Las piezas fabricadas se han diseñado para poder sujetar el servomotor a la base, así se puede separar todo el sistema de tracción fácilmente quitando los tornillos que unen L1 y L2 a la base.

Para poder apreciar mejor el despiece (figura 67) se ha suprimido L2 y la rueda en el dibujo, pero cabe destacar que el montaje de L2 es el mismo que L1 y que es necesario instalar la rueda de tracción en el servo antes de fijarlo a las L1 y L2.



### Figura 67. Montaje de L1

## 6.3 Elevación

Para el sistema de elevación se han impreso 6 tipos de pizas: topes, codos, base 2, 2 tipos de suplementos, portahorquillas y horquillas. Para mayor información sobre las medidas correspondientes véase el apartado 3 del capítulo II. Planos.

### 6.3.1 Topes

Son dos pequeños cilindros que evitarán que el piñón superior se deslice a lo largo de la barra horizontal (figura 68).

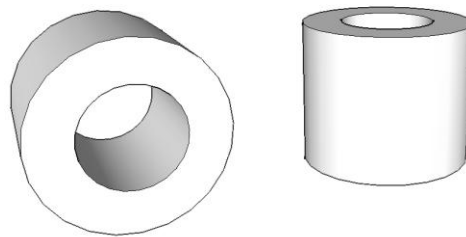


Figura 68. Topes

Primero se ha de insertar el piñón en la barra y posteriormente los topes a los lados (figura 69), teniendo en cuenta que el piñón ha de tener una pequeña holgura para que pueda girar con facilidad. Los topes se han instalado a presión para dar la posibilidad de poder desmontarlos.

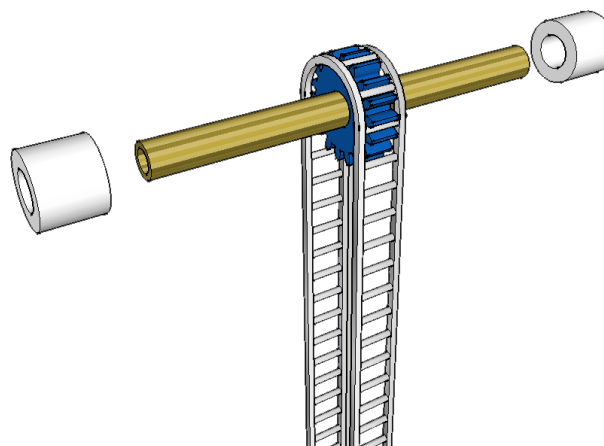


Figura 69. Montaje de los topes

### 6.3.2 Codos

Constan de un conjunto de 2 piezas que sirven para sujetar la barra de latón horizontal a las dos guías del portahorquillas (figura 70).

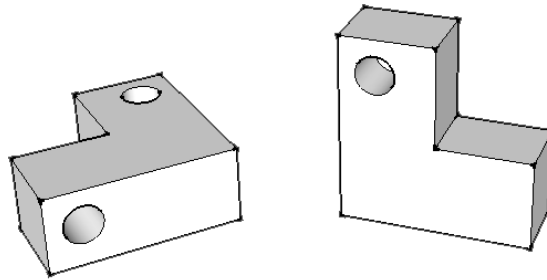


Figura 70. Codos

En la barra horizontal se introduce el piñón al que se previamente se ha engranado la cadena y las dos guías se introducen, a presión, en los orificios de los codos (figura 71).

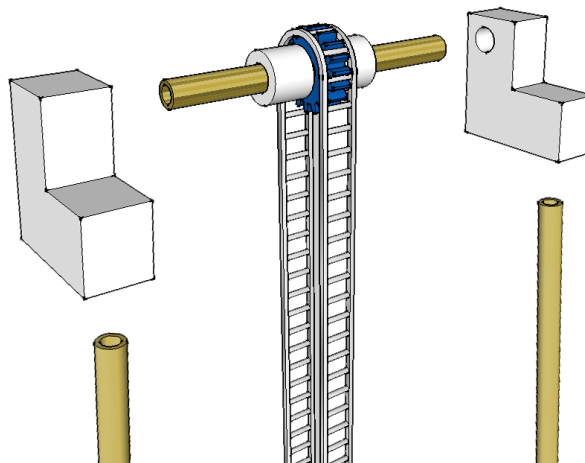


Figura 71. Montaje de los codos

### 6.3.3 Base 2

Con esta pieza se evita que la cadena que engrana al piñón inferior del sistema de elevación, no roce con la base del vehículo. Para ello se ha fabricado una base con la altura necesaria para tal efecto (figura 72).

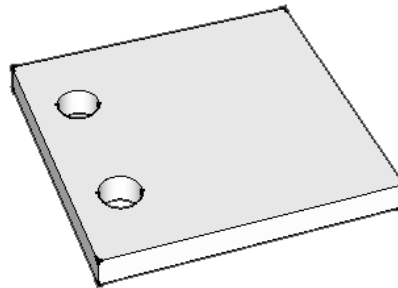


Figura 72. Base 2

Al igual que en el caso de la Base 1, se ha tenido que cortar la pestaña inferior del servo para éste apoye completamente sobre la pieza. El servomotor va a adherido con un pegamento para plásticos rígidos a la Base 2, y ésta a su vez va atornillada a la base del vehículo, permitiendo poder desacoplarla fácilmente (figura 73).

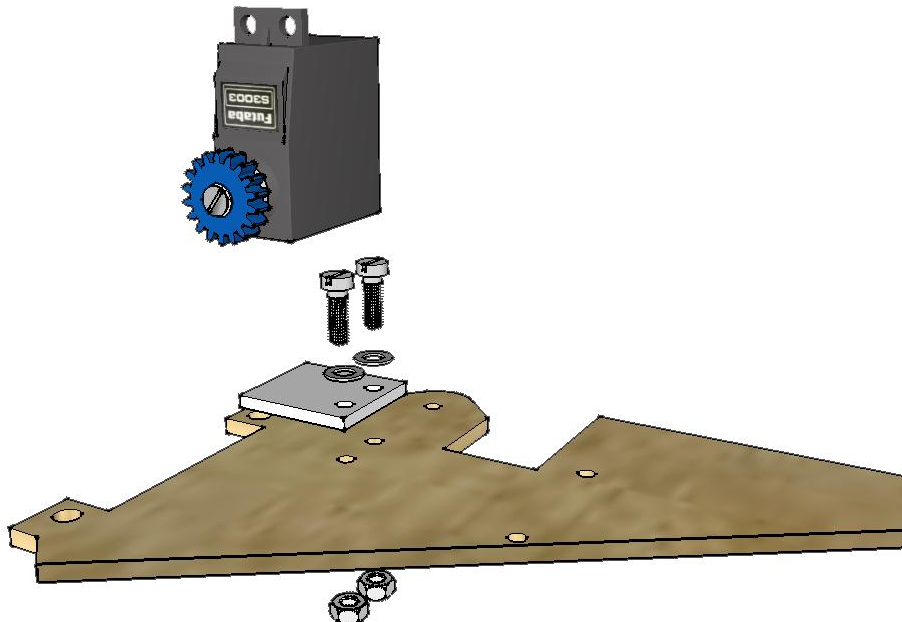
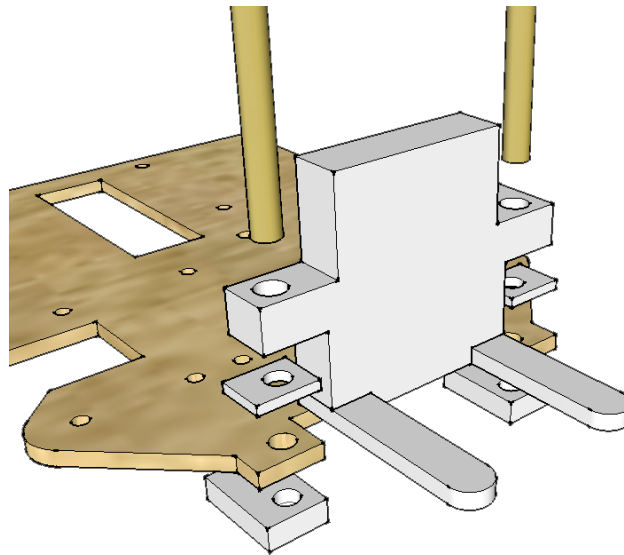


Figura 73. Montaje de la Base 2

### 6.3.4 Suplementos

Se han fabricado dos pequeños suplementos que ayuden a que las horquillas estén a la distancia correcta del suelo. Van situados en las dos guías de latón, entre el portahorquillas y la base del vehículo, donde irán fijadas.

Para dar una mayor estabilidad y consistencia a las guías de elevación, se han incorporado otros dos suplementos sujetos a la parte inferior de la base, donde encajan las barras verticales, que junto con los dos anteriores forman un bloque más sólido (figura 74).

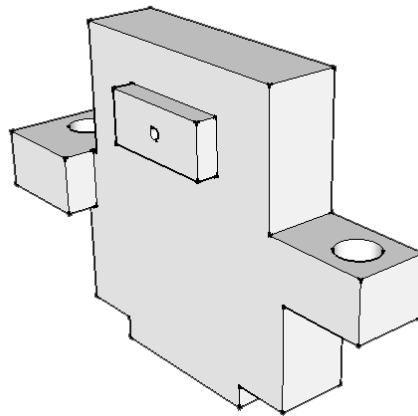


**Figura 74. Montaje de los Suplementos**



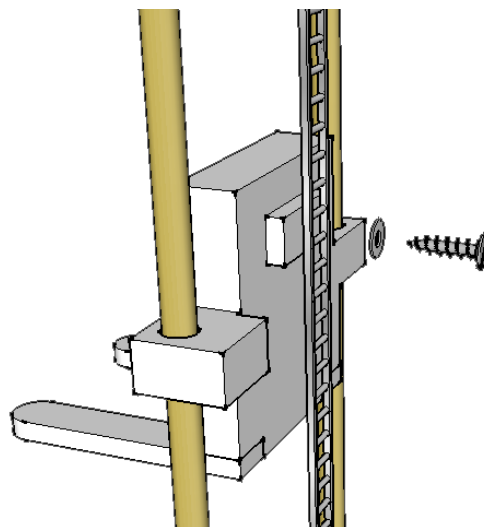
### 6.3.5 Portahorquillas

El portahorquillas es la pieza de mayores dimensiones que se ha impreso para este proyecto. Se encarga de elevar la carga a través de unas barras de latón (figura 75).



**Figura 75. Portahorquillas**

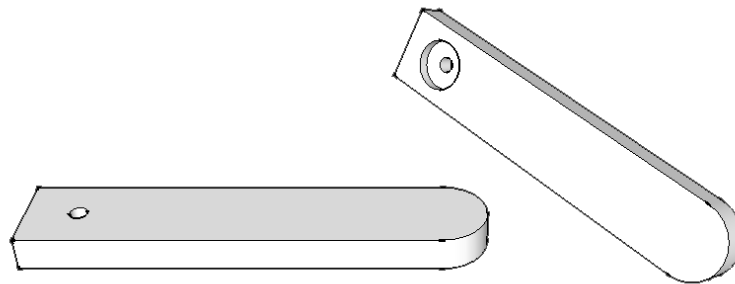
Para instalar el portahorquillas hay que seguir en orden dos fases. En la primera hay que introducir las barras de latón por los orificios verticales del portahorquillas, a continuación acoplar los suplementos y por último fijar las barras a la base del vehículo (figura 74). En la segunda fase se ha utilizado un tornillo junto con una arandela para sujetar la cadena a la parte trasera del portahorquillas (figura 76).



**Figura 76. Montaje del portahorquillas**

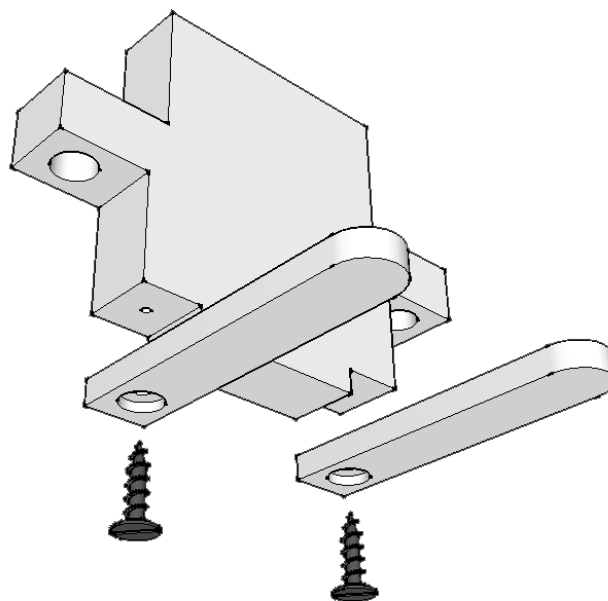
### 6.3.6 Horquillas

Son las piezas encargadas de sostener la carga que vaya a transportar el vehículo, y dependiendo de su tamaño permitirá llevar cargas más o menos voluminosas (figura 77).



**Figura 77. Horquillas**

Estas dos piezas van acopladas al portahorquillas mediante dos tornillos, que aseguran su correcto posicionamiento (figura 78).



**Figura 78. Montaje de las Horquillas**

### 6.3.7 Finales de carrera

Se han instalado dos finales de carrera, uno en la parte superior (figura 79), acoplado a uno de los codos, y otro en la parte inferior (figura 80), situado sobre la base del vehículo.

Cuando el portahorquillas toca alguno de los dos finales de carrera, se manda una señal a la placa Arduino, indicando que ha llegado al final del recorrido, y automáticamente el servo de elevación se para. En ese momento, el servomotor sólo responderá si la orden emitida desde el smartphone es la de girar en sentido contrario.

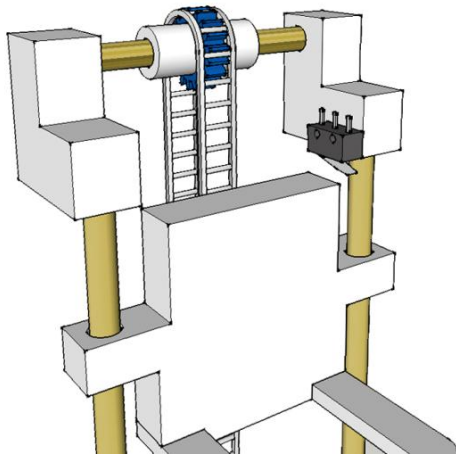


Figura 79. Final de carrera superior

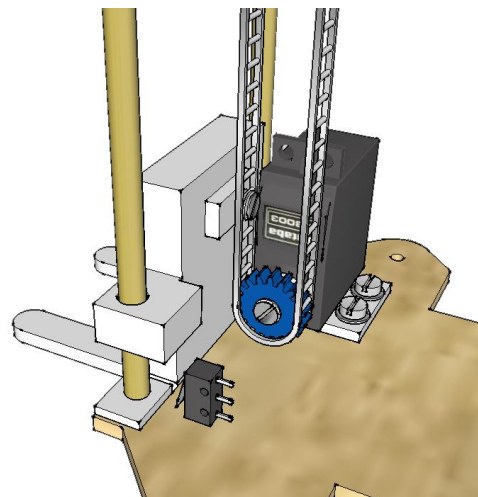


Figura 80. Final de carrera inferior

## 6.4 Electrónica

En los siguientes apartados se detallará las modificaciones mecánicas y electrónicas que se han realizado a los servomotores y la fabricación y conexionado de la PCB.

### 6.4.1 Servomotores

Para que los servomotores de tracción y de elevación puedan realizar giros de 360°, es necesario aplicarles una serie de modificaciones.

En primer lugar hay que quitar la pestaña que hace de tope mecánico e impide que el motor pueda realizar un giro completo (figura 81).



Figura 81. Eliminación de pestaña

El segundo paso consiste en sacar la placa electrónica que se encuentra en la parte inferior del servo, cortar las tres terminaciones del potenciómetro de 180° y soldar un nuevo potenciómetro multivuelta de 5K $\Omega$  (figura 82).

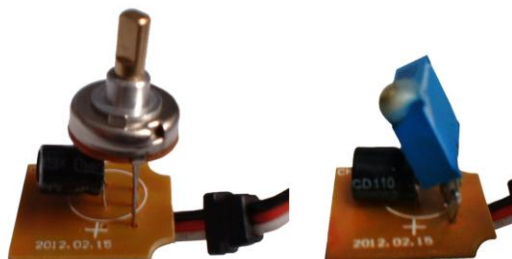


Figura 82. Sustitución del potenciómetro

Por último se procede a la calibración del servo, para ello se le envía el valor 90, y se gira el potenciómetro hasta que el motor interno se pare. En ese momento se fija el tornillo del potenciómetro.

### 6.4.2 PCB y conexiones

Para montar la placa PCB hacen falta los siguientes componentes: 2 Resistencias de 1K $\Omega$ , 2 Regletas rectas de pines hembra y 12 contactos, 1 Regleta recta de pines hembra y 4 contactos, y 5 Regletas rectas de pines macho y 3 contactos.

Para una mayor comodidad se recomienda soldar primero las resistencias y a continuación las regletas (figura 83).

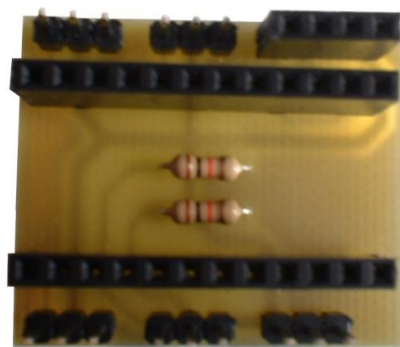


Figura 83. Placa PCB montada

A continuación se muestra un pequeño esquema de todas las conexiones que se han de realizar a la placa PCB (figura 84).

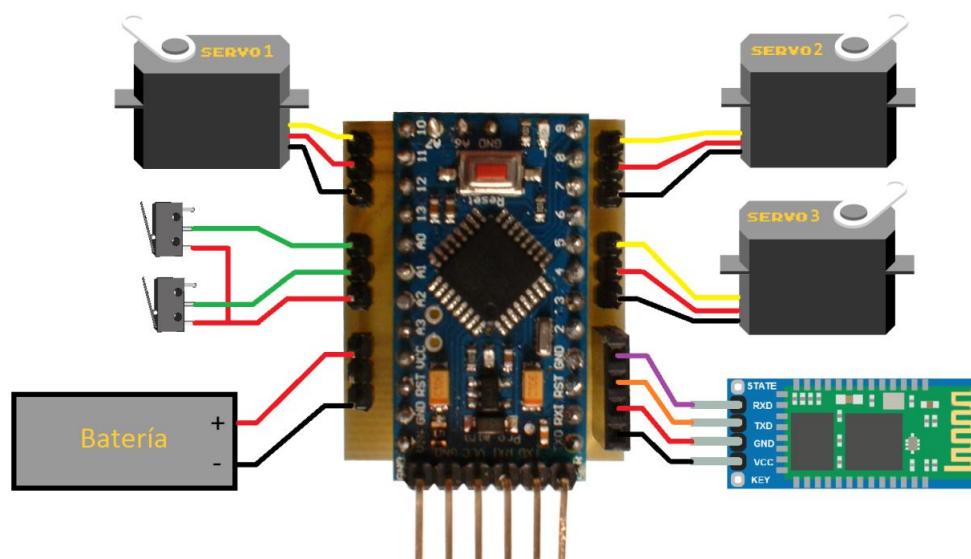


Figura 84. Conexiones a la PCB

## **7. PRUEBAS**

### **HABILIDAD DE MANEJO**

Para realizar este apartado, se ha hecho un estudio entre 10 personas. De las cuales eran 4 varones y 1 mujer de entre 20 y 30 años, 2 niños de 12 y 14 años, 2 varones de 60 años y 1 mujer de 56.

El procedimiento llevado a cabo para este estudio ha sido el siguiente:

- Durante 10 minutos se realizó una instrucción previa, explicando todo el funcionamiento necesario para el manejo del vehículo.
- Se dejó que tomaran contacto con el dispositivo para familiarizarse con los mandos durante 15 minutos.
- Durante 20 minutos hicieron un sencillo recorrido marcado, en el que tenían que usar todos los controles posibles: marcha hacia delante, hacia atrás, giros, recogida de carga, elevación, depósito de carga, grabación y reproducción de movimientos.
- Recogida de datos y valoración de los resultados.

Este estudio se ha resumido en la siguiente tabla:

	Buena	Normal	Mala
<b>Puesta en funcionamiento</b>	8	2	0
<b>Comprensión de la pantalla</b>	7	3	0
<b>Facilidad de manejo de pantalla</b>	7	2	1
<b>Coordinación de movimientos</b>	6	2	2

De los datos anteriormente expuestos, puede deducirse la facilidad con que resulta tanto la puesta en funcionamiento del conjunto, como de la compresión de la pantalla. Lo que significa que se ha conseguido realizar una aplicación móvil muy intuitiva.

En cuanto al manejo de la pantalla y la coordinación de los movimientos se pudo observar que aumenta el número de personas que han tenido alguna dificultad. Aunque cabe señalar que dichos sujetos coinciden con los de mayor edad.

## **MÓDULO BLUETOOTH**

El vehículo funciona siempre que se encuentre a una distancia inferior o igual a 11 metros del smartphone, independientemente de si existe o no cobertura telefónica o Wifi. En el caso de sobrepasar dicha distancia, el vehículo circulará con la última velocidad y dirección que haya detectado.

Una posible solución sería que cada cierto tiempo la placa enviase un valor al smartphone, y éste devolviera una respuesta. Si en algún momento la placa deja de recibir la respuesta, el vehículo se detendría, volviendo a trabajar normalmente al entrar de nuevo en el rango de funcionamiento.

En este rango de distancia no se han apreciado interferencias significativas con otros dispositivos electrónicos de uso normal que emitan ondas de radiofrecuencia.

## **DURACIÓN DE BATERÍAS**

De las pruebas realizadas con cuatro baterías de 2700 mAh y 1,2 V cada una y el consumo de los componentes utilizados, se ha podido establecer una duración aproximada de entre 3 y 4 horas, dependiendo del peso de la carga transportada y de la velocidad de tracción.

## FIABILIDAD

Durante las 20 horas de pruebas realizadas se ha comprobado el funcionamiento del hardware y software con los resultados que se detallan a continuación:

- Mecánicamente funcionan todos los componentes.
- No ha habido fallos eléctricos ni electrónicos en todos aquellos componentes que han sido soldados manualmente.
- Los servos trucados han funcionado correctamente sin perder la calibración.
- No ha habido fallos en los finales de carrera.
- No se ha perdido la conexión Bluetooth mientras se esté dentro del rango de distancia.
- La aplicación móvil no ha dejado de funcionar mientras está activa, manteniendo la pantalla encendida durante todo el tiempo de trabajo.
- La secuencia de datos enviados y recibidos ha sido la correcta, manteniendo siempre el orden establecido de velocidad, dirección y elevación.

No se han realizado pruebas de esfuerzo, es decir, determinar el límite de funcionamiento que tienen los servomotores y todos los demás componentes ante un trabajo continuo, más allá del tiempo empleado en las pruebas realizadas



## **8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Como parte final del presente proyecto, se puede concluir que se han cumplido todos los objetivos marcados desde el inicio:

- Construir un pequeño vehículo imprimible capaz elevar cargas ligeras, permitiendo al usuario manejarlo intuitivamente y de forma remota mediante un dispositivo Android.
- Crear un programa para la placa Arduino, conectada a un dispositivo móvil mediante Bluetooth. Para ello se ha utilizado el IDE de Arduino versión 0023, que al ser *open-source* permite ser una fuente de aprendizaje y desarrollo común.
- Desarrollar una aplicación Android mediante el IDE de Processing, que permite obtener los valores del acelerómetro del dispositivo móvil, transmitir datos mediante una conexión Bluetooth a una dirección MAC previamente establecida y acceder a la tarjeta de memoria externa para el almacenamiento de datos.
- Diseñar e implementar una interfaz multidispositivo con la que poder manejar el vehículo de forma intuitiva, gracias a la facilidad de compresión de los mandos y avisos emergentes.
- Diseñar una PCB, mediante el software Orcad utilizado en la UC3M, y su posterior montaje, que permite minimizar la cantidad de elementos de conexión, mejorando así la organización del conjunto.
- Fabricar gran parte de las piezas en ABS, mediante la utilización de una impresora 3D. Usando para ello el software de diseño Google SketchUp y el Repetier-Host.
- Llevar a cabo un sistema mecánico de tracción, dirección y elevación sustentado en la utilización de servomotores que han tenido que ser modificados y calibrados para su aplicación a las distintas funciones.

La metodología utilizada permite su construcción y programación a cualquier persona que posea una base en electrónica, robótica y programación, permitiendo ampliar sus conocimientos en dichos campos. De esta manera, este proyecto se convierte en una herramienta ideal para formar parte como material didáctico.

En lo personal, este proyecto me ha supuesto una gran experiencia, pues me ha permitido conocer el mundo de las impresoras 3D y programar por primera vez en un smartphone. También me ha ayudado a saber buscar y recopilar la información relevante y a ampliar mis conocimientos de electrónica y mecánica al tener que estudiar los distintos sistemas de dirección, tracción y elevación.

No obstante, el trabajo hasta llegar a terminarlo, partiendo sólo de una idea, no ha sido fácil. A lo largo de la realización del proyecto han ido surgiendo distintas dificultades de hardware y software, algunas de las cuales han tenido una fácil solución y otras han obligado a cambiar el diseño inicial.

Uno de los grandes retos, y que más tiempo me supuso, ha sido el sistema de dirección y tracción. La idea original era que las ruedas de dirección y de tracción fuesen las mismas y se hallasen en la parte delantera del vehículo, pudiendo la rueda trasera girar libremente.

Como no se consiguió que las ruedas girasen de forma sincronizada con el método del calibrado de los potenciómetros, se intentó hacer con un puente en H, pero tampoco dio los resultados esperados. Se llegó a la conclusión de que el problema era debido a las pequeñas diferencias que había en las resistencias internas de los dos servomotores. De manera que se optó por cambiar el diseño y poner un sistema de dirección basado en un piñón-cremallera, lo que implicaba tener que diseñar y fabricar las piezas necesarias para que la mecánica funcionase correctamente.

Al ser un proyecto hecho con software libre y con materiales versátiles y de fácil acceso, permite a los usuarios realizar mejoras al diseño, como son:

- Poder inclinar la carga para mejorar su estabilidad al subir.
- Hacer que las horquillas puedan cambiar de posición para adaptarse a distintos palés.
- Realizar un chasis del vehículo más estético.
- Conseguir una comunicación vía Wifi para poder controlar al vehículo a una mayor distancia.
- Mejorar la aplicación del dispositivo móvil para hacerla más completa.

En ninguno de los casos estudiados de carretillas industriales reales, se ha observado un ejemplo en el que el operario controlase de forma remota la carretilla elevadora. Debido a que hay lugares y cargas que suponen un riesgo al trabajador, se ha pensado en que el sistema desarrollado en este proyecto podría servir en el futuro como un pequeño prototipo, a partir del cual se pudiera construir un vehículo industrial. De esta manera se evitaría que el operario se encuentre directamente en la zona de mayor peligro.

A continuación se muestra un enlace a un vídeo subido a *youtube* donde se puede ver el funcionamiento del vehículo construido:

[https://www.youtube.com/watch?v=0nj0JthXdG8&list=UU84\\_H\\_03sPC1Rq3lFFG9e\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=0nj0JthXdG8&list=UU84_H_03sPC1Rq3lFFG9e_A)

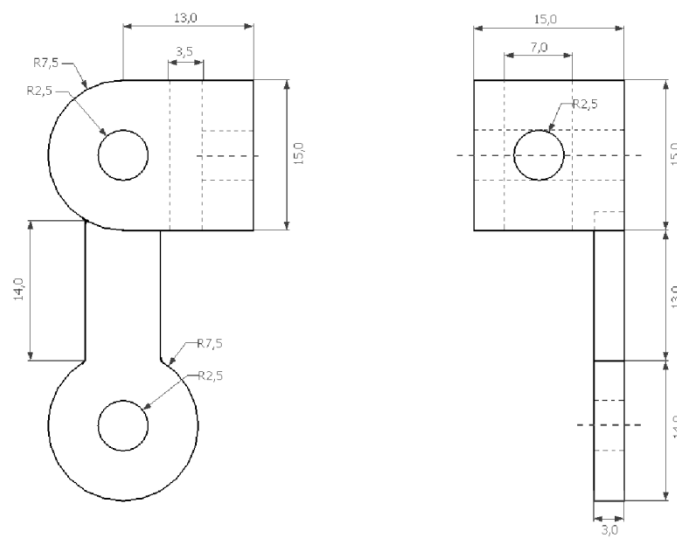
## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Arduino*. <http://arduino.cc/> (Consultado en: 2013).
- [2] *Asociación de Robótica UC3M*. <http://asrob.uc3m.es/> (Consultado en: 2013).
- [3] Del Solar, J. Ruiz, y R. Salazar. *Robots Móviles*. Universidad de Chile.
- [4] Herrero, Cristina Fernández. *Fabricación y construcción de equipos electrónicos*. Clases Magistrales: Universidad Carlos III de Madrid, 2013.
- [5] IDC. *Comparación de ventas 2012 - 2013*.  
<http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS24257413> (Consultado en: 2013).
- [6] *Impresoras 3D*. <http://www.impresoras3d.com/> (Consultado en: 2013).
- [7] Meier, Reto. *Professional Android 2 Application Development*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2010.
- [8] *Microlog*. <http://www.microlog.net> (Consultado en: 2013).
- [9] Planas, Dimas Rodríguez. «NTP 713: Carretillas elevadoras automotoras.» Ministerio de trabajo y asuntos sociales.
- [10] *Processing*. <http://www.processing.org/> (Consultado en: 2013).
- [11] *Wiki - Robotics*. <http://www.iearobotics.com/> (Consultado en: 2013).

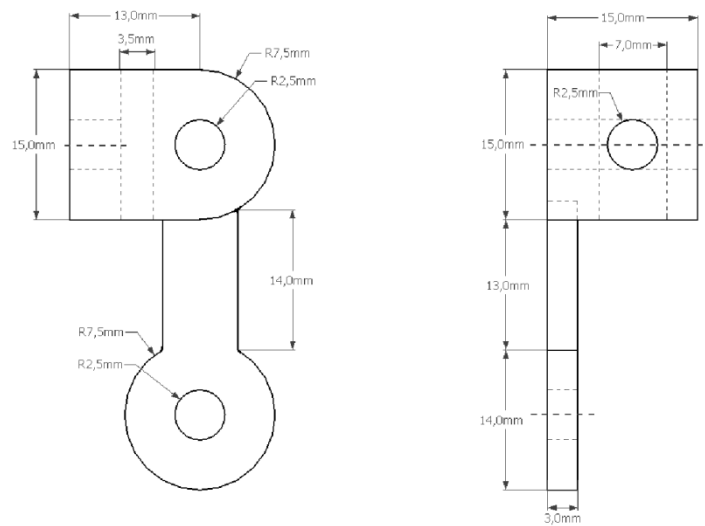


## II. PLANOS

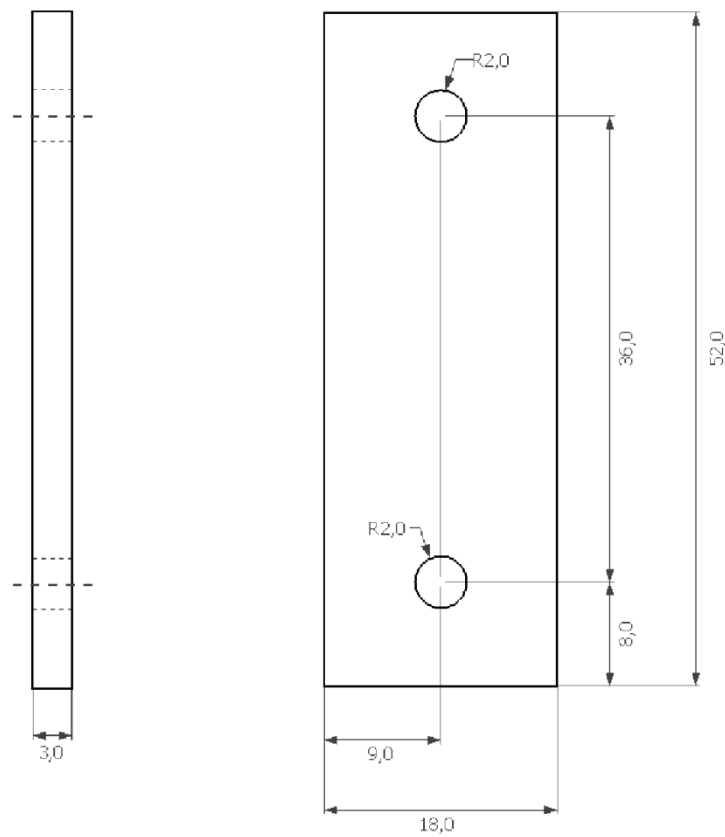
## 1. DIRECCIÓN



TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: A.01
PLANO: DIRECCIÓN BRAZO DERECHO	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 1,33:1 (mm)

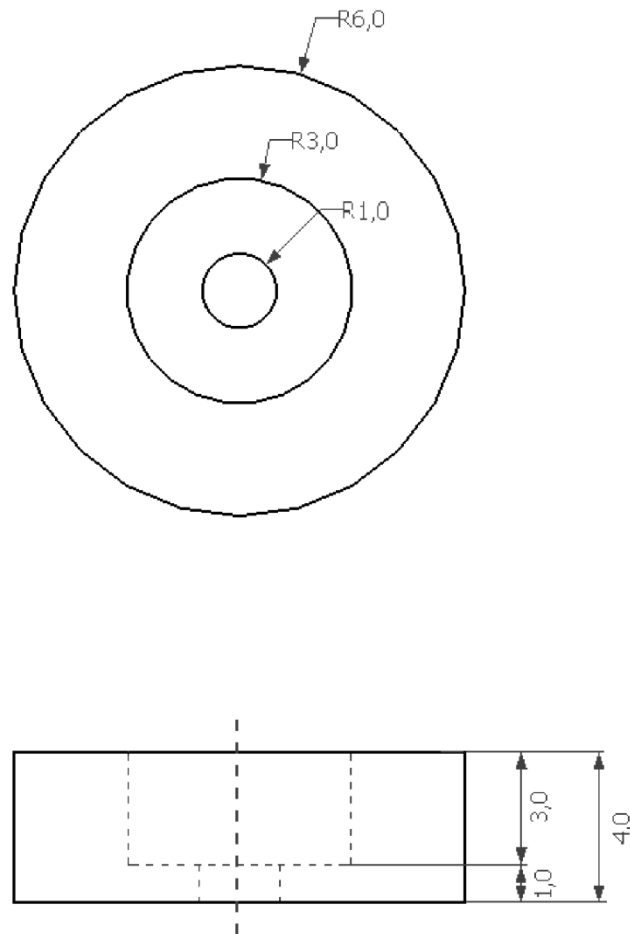


TÍTULO:		DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO:		SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	
PLANO:		DIRECCIÓN BRAZO IZQUIERDO	
Nº DE PLANO:		A.02	
FECHA:		ENE.2014	
ESCALA:		1,33:1 (mm)	

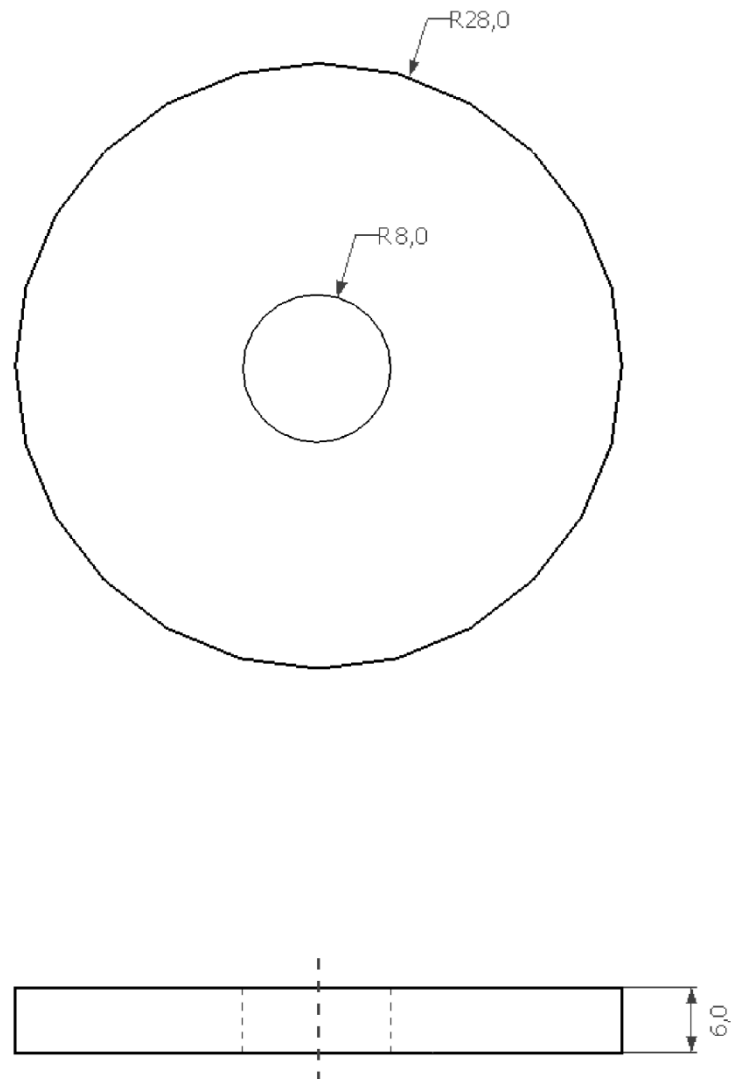


TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: A,03
PLANO: DIRECCIÓN BASE 1	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 1,63:1 (mm)



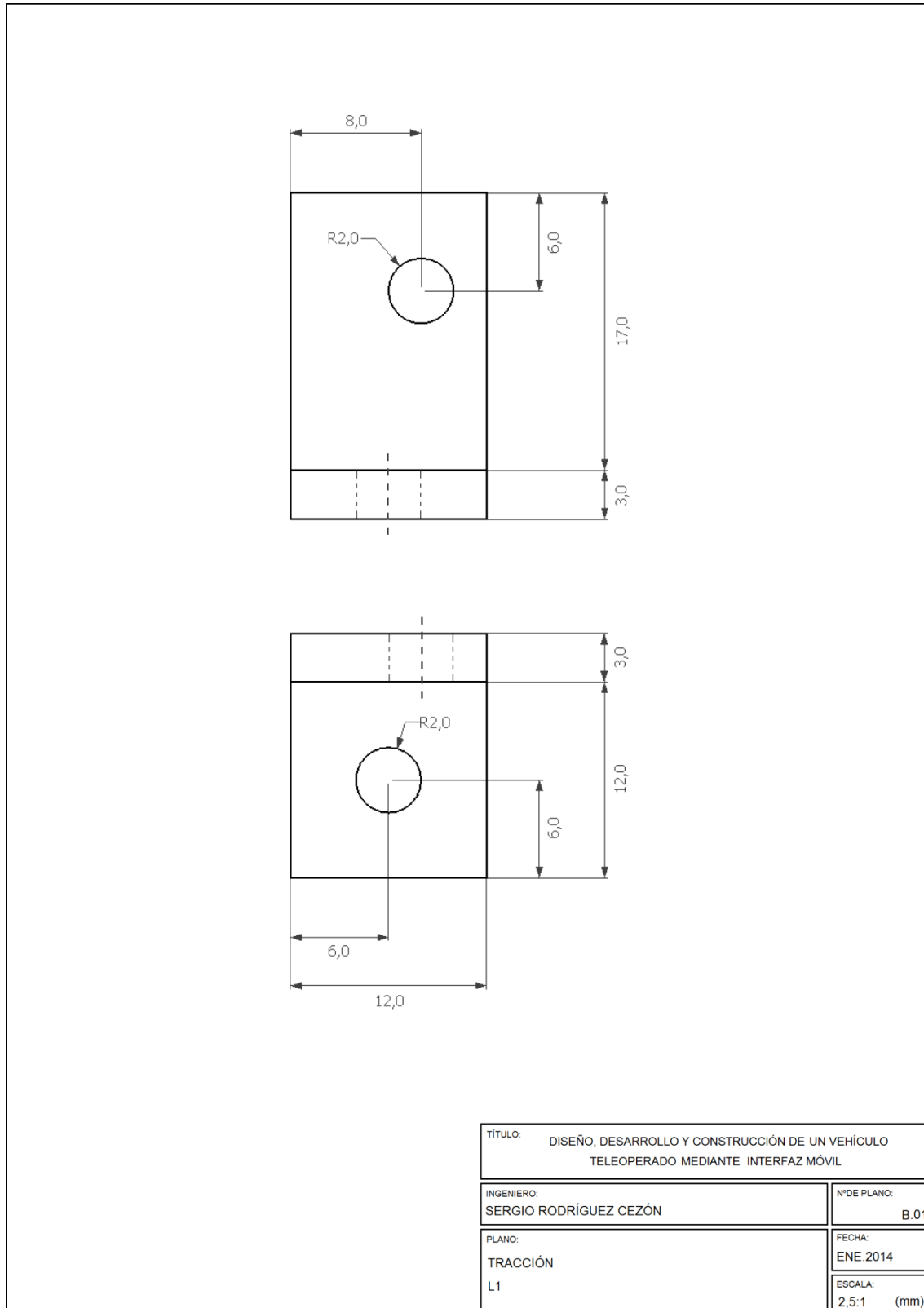


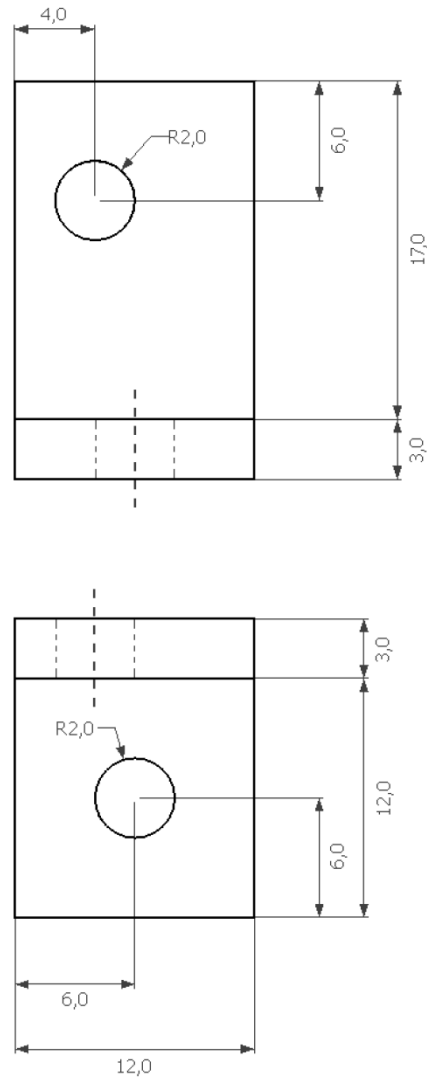
TÍTULO:		DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO:		SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	
PLANO:		DIRECCIÓN CASQUILLO	
		Nº DE PLANO:	A.04
		FECHA:	ENE.2014
		ESCALA:	4,67:1 (mm)



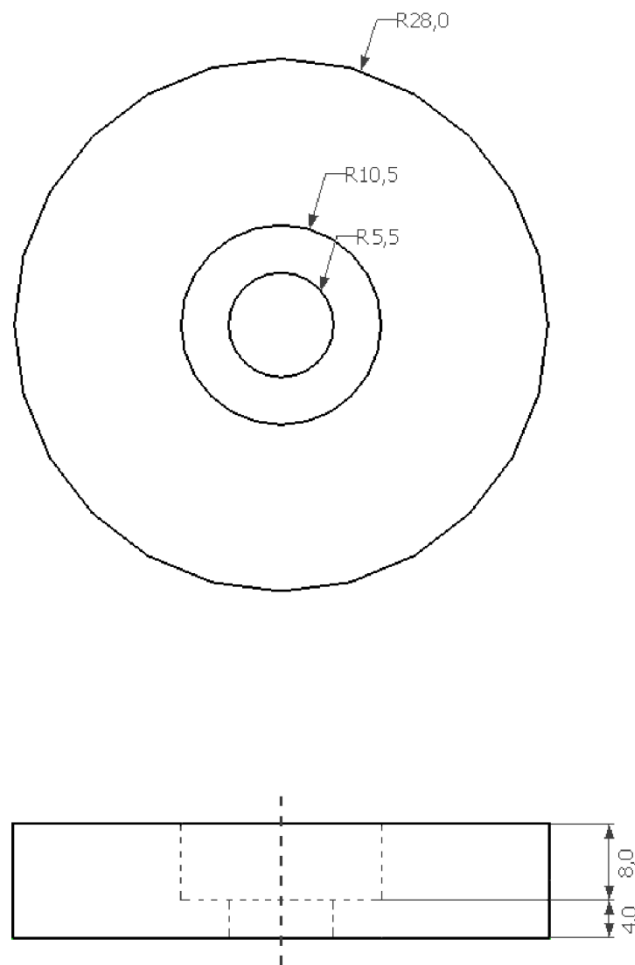
TÍTULO:		DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO:		SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	
PLANO:		DIRECCIÓN RUEDA DELANTERA	
		Nº DE PLANO:	A.05
		FECHA:	ENE. 2014
		ESCALA:	1,35:1 (mm)

## 2. TRACCIÓN



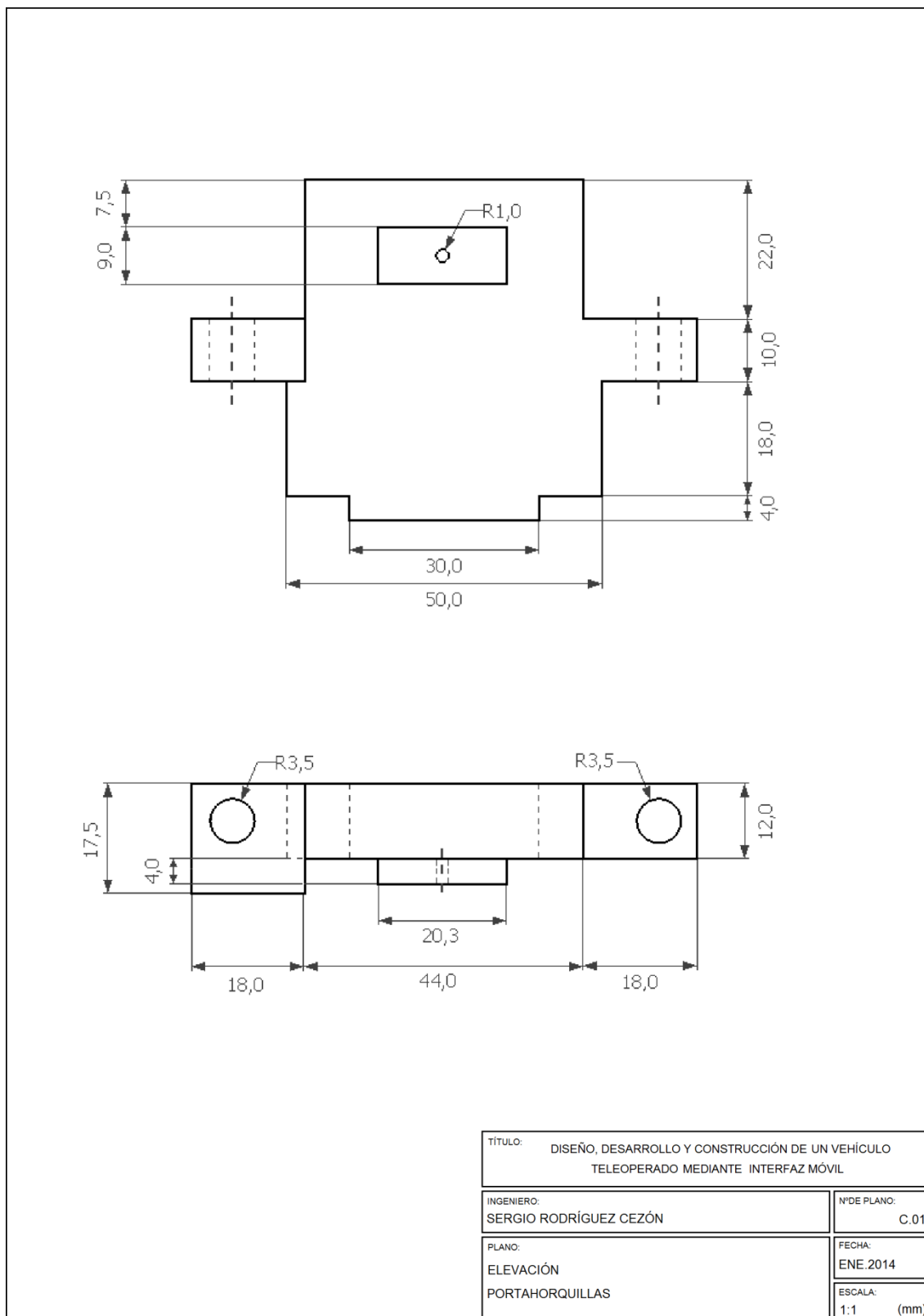


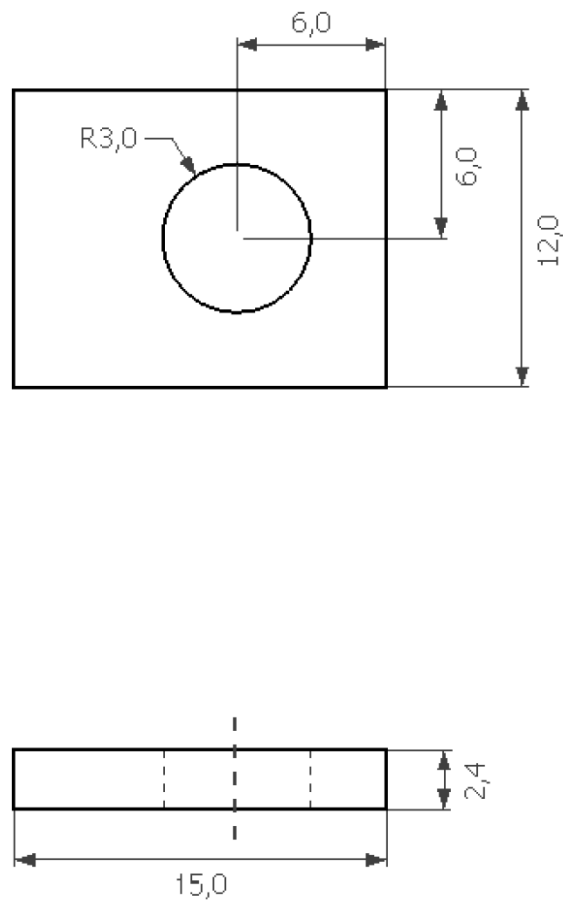
TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: B.02
PLANO: TRACCIÓN L2	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 2,5:1 (mm)



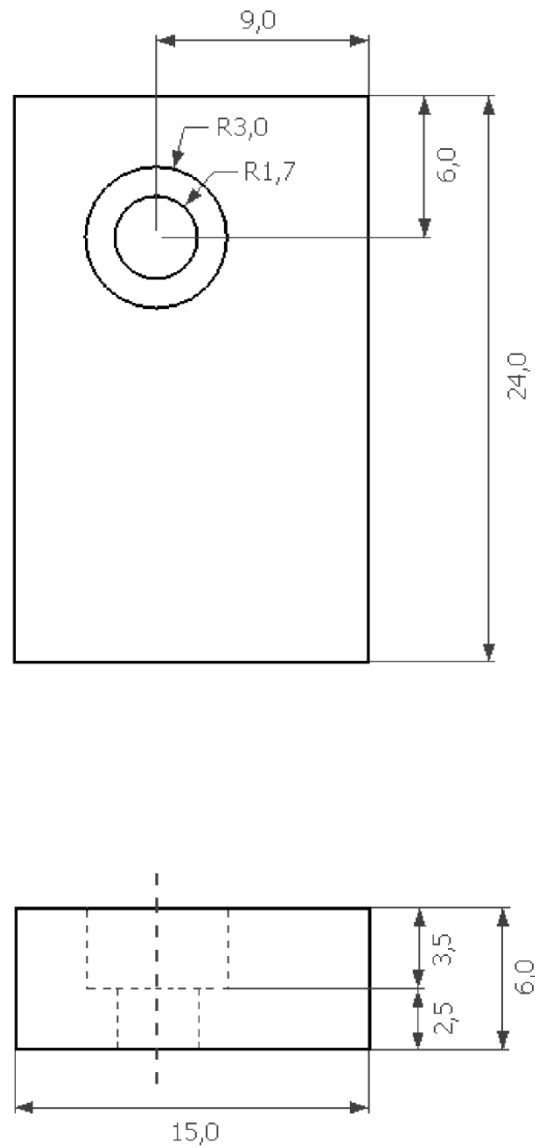
TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: B.03
PLANO: TRACCIÓN RUEDA TRASERA	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 1,35:1 (mm)

### 3. ELEVACIÓN



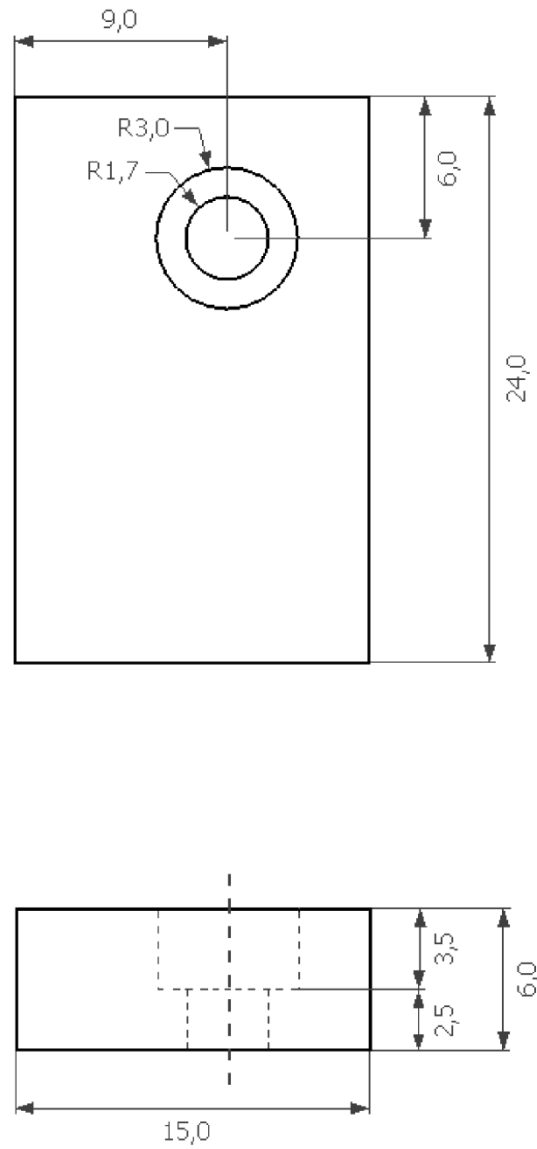


TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: C.02
PLANO: ELEVACIÓN SUPLEMENTO 1	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 3,17:1 (mm)

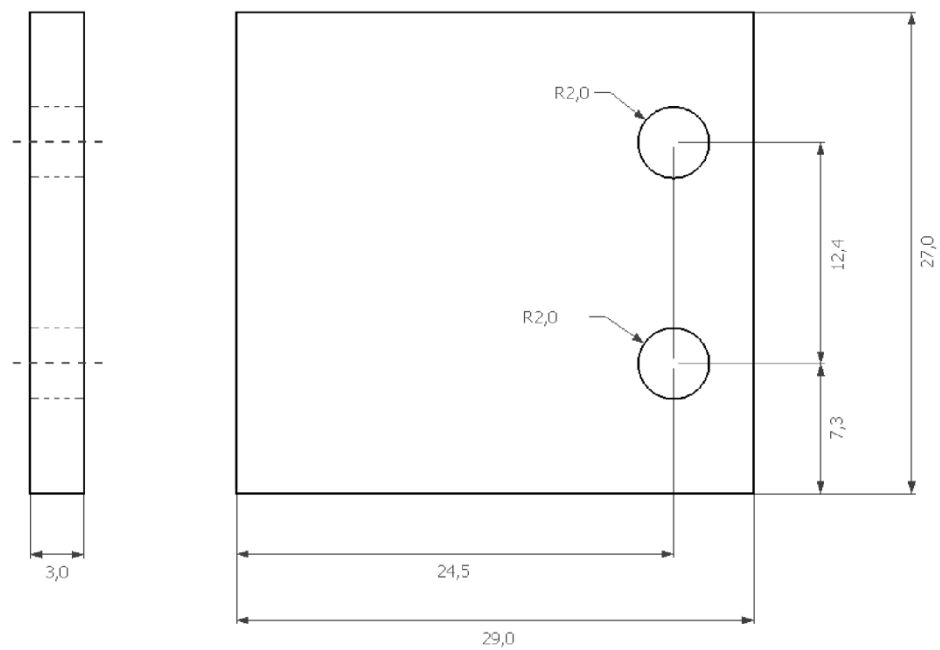


TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: C.03
PLANO: ELEVACIÓN SUPLEMENTO 2 DERECHO	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 3:1 (mm)

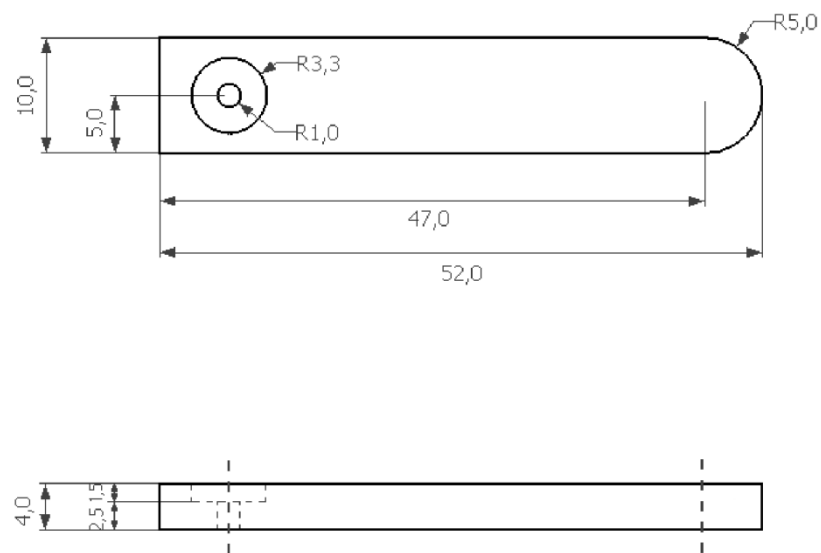




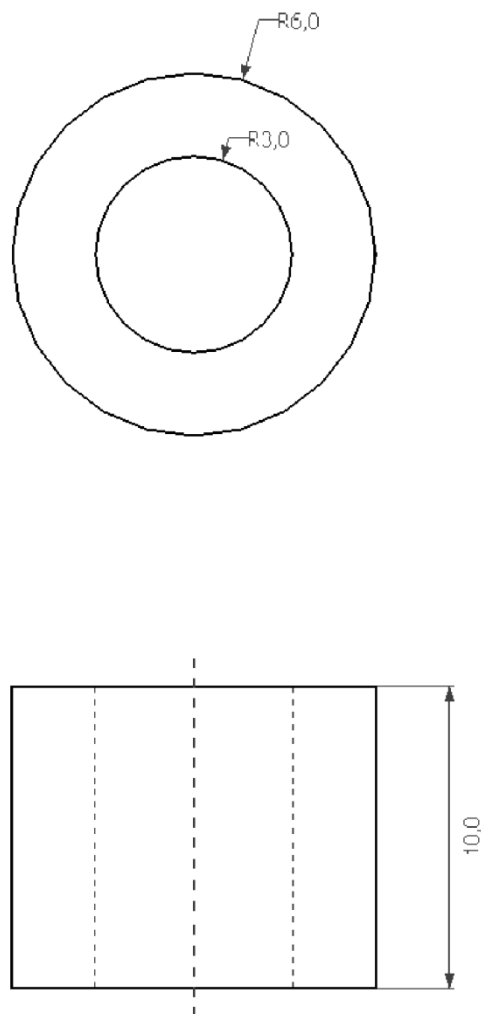
TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: C.04
PLANO: ELEVACIÓN SUPLEMENTO 2 IZQUIERDO	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 3:1 (mm)



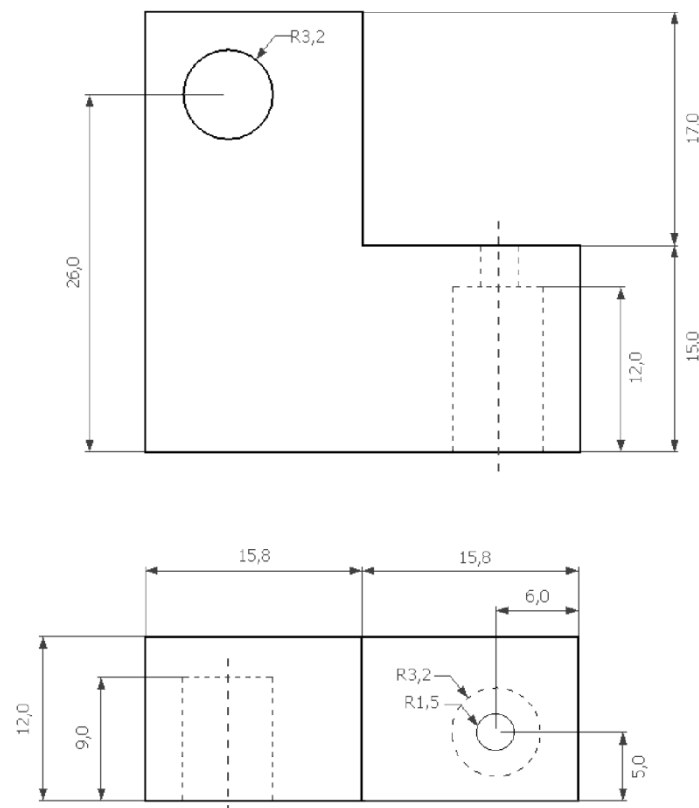
TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: C.05
PLANO: ELEVACIÓN BASE 2	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 2,22:1 (mm)



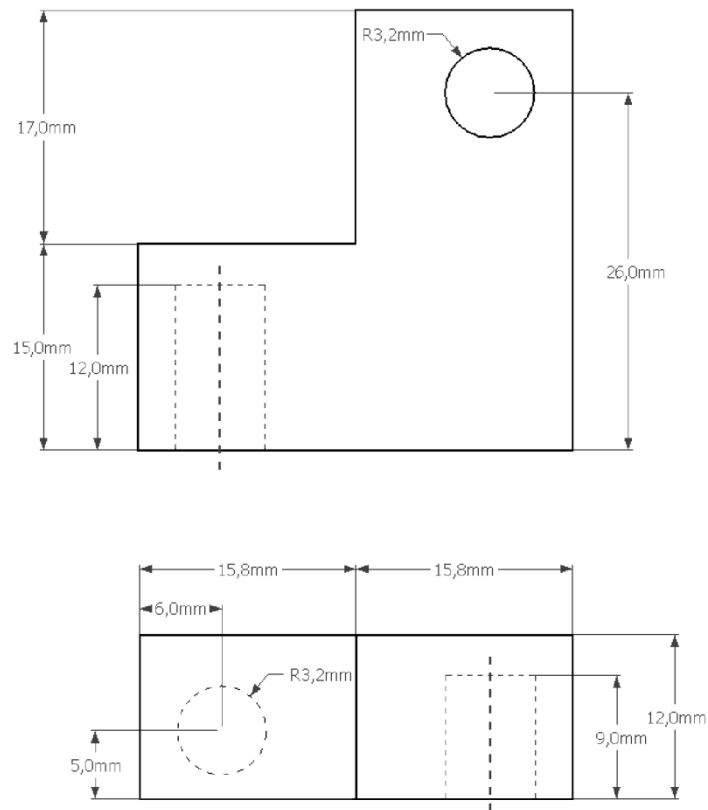
TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL		
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN		Nº DE PLANO: C.06
PLANO: ELEVACIÓN HORQUILLA		FECHA: ENE. 2014
		ESCALA: 1,44:1 (mm)



TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: C.07
PLANO: ELEVACIÓN TOPE	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 3,8:1 (mm)

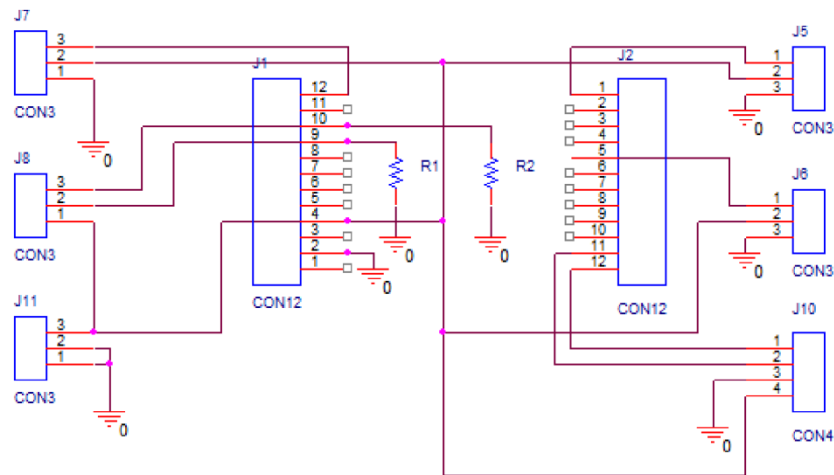


TÍTULO:		DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO:		SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	
PLANO:		ELEVACIÓN CODO DERECHO	
		Nº DE PLANO:	C.08
		FECHA:	ENE. 2014
		ESCALA:	1,73:1 (mm)

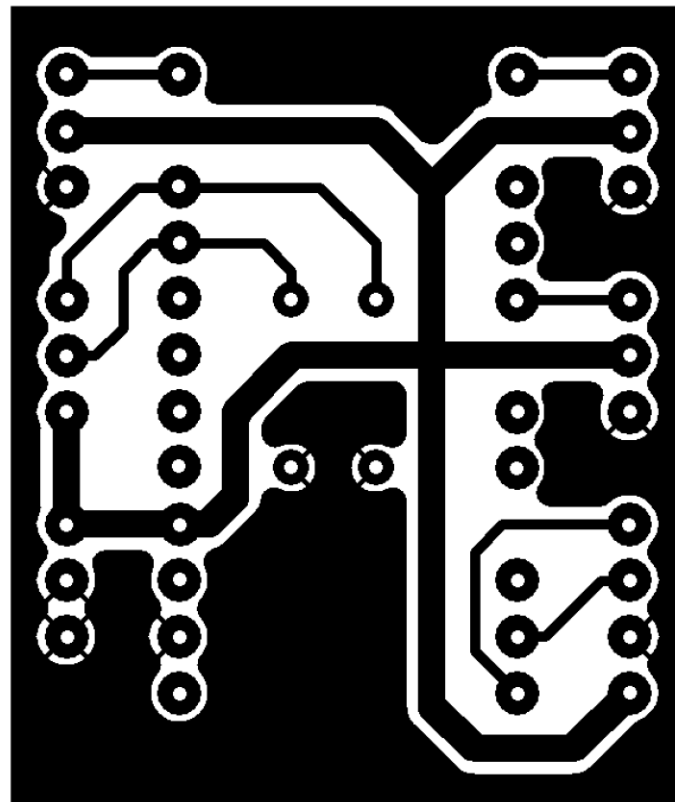


TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: C.09
PLANO: ELEVACIÓN CODO IZQUIERDO	FECHA: ENE.2014
	ESCALA: 1,73:1 (mm)

## 4. PLACA DE CIRCUITO IMPRESO



TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: D.01
PLANO: PLACA DE CIRCUITO IMPRESO ESQUEMA ELÉCTRICO	FECHA: ENE.2014
	ESCALA:



TÍTULO: DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TELEOPERADO MEDIANTE INTERFAZ MÓVIL	
INGENIERO: SERGIO RODRÍGUEZ CEZÓN	Nº DE PLANO: D.02
PLANO: PLACA DE CIRCUITO IMPRESO FOTOLITO CAPA BOTTOM	FECHA: ENE. 2014
	ESCALA: 2,83:1 (mm)





### III. ANEXOS

## A. PLANIFICACIÓN DE TAREAS Y PRESUPUESTO

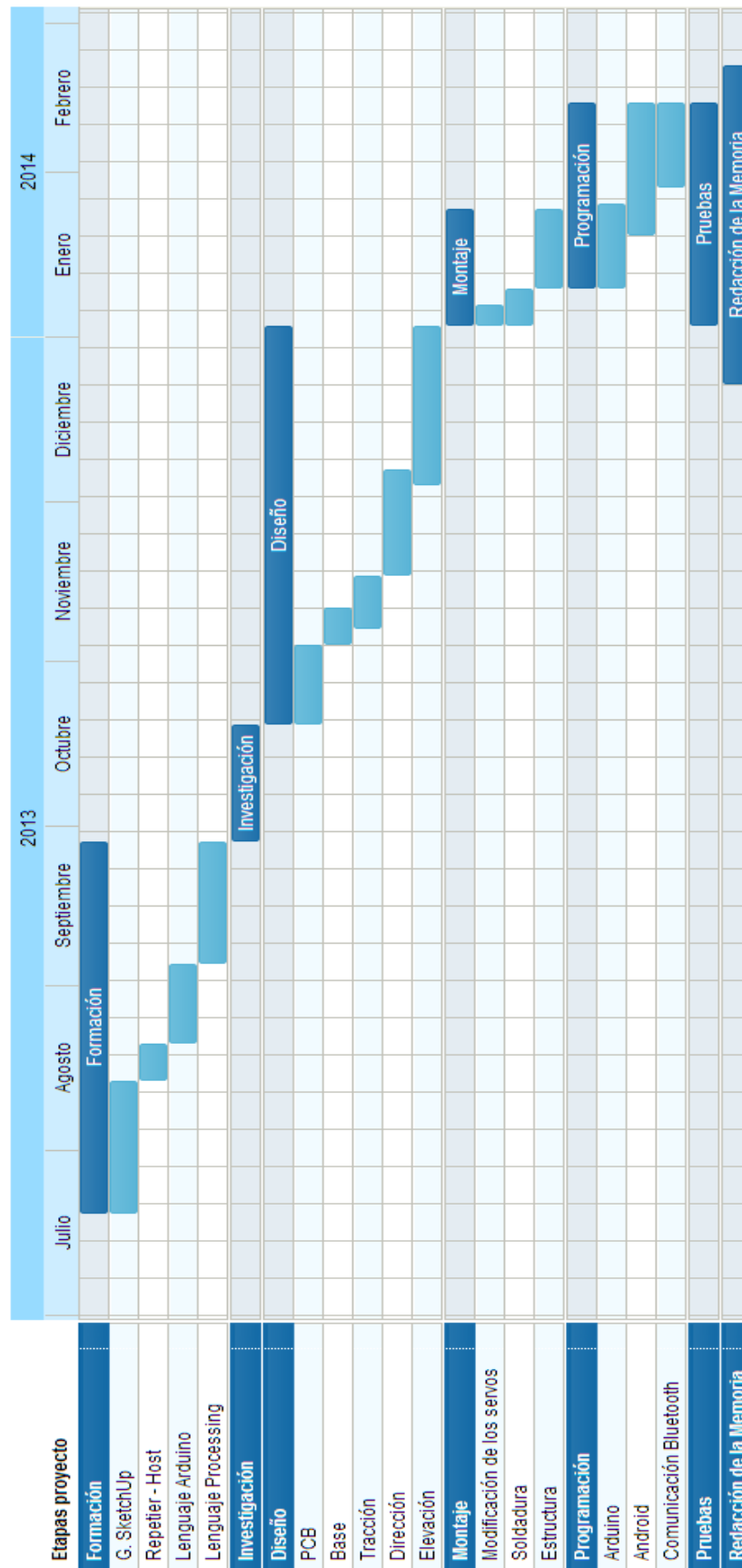
### A.1 Organización de tareas

En este apartado se detalla el tiempo empleado en realizar cada una de las partes del proyecto. Para ello se ha dividido en siete grupos obteniendo un total de siete meses de trabajo.

A continuación se muestra una tabla con la duración y las fechas de inicio y final que han supuesto cada uno de los apartados realizados.

Etapas proyecto	Duración (días)	Inicio	Final
<b>Formación</b>	70	20/07/13	27/09/13
<b>G. SketchUp</b>	25	20/07/13	13/08/13
<b>Repetier – Host</b>	7	14/08/13	20/08/13
<b>Lenguaje Arduino</b>	15	21/08/13	04/09/13
<b>Lenguaje Processing</b>	23	05/09/13	27/09/13
<b>Investigación</b>	22	28/08/13	19/10/13
<b>Diseño</b>	75	20/10/13	02/01/14
<b>PCB</b>	15	20/10/13	03/11/13
<b>Base</b>	7	04/11/13	10/11/13
<b>Tracción</b>	10	07/11/13	16/11/13
<b>Dirección</b>	20	17/11/13	06/12/13
<b>Elevación</b>	30	04/12/13	02/01/14
<b>Montaje</b>	22	03/01/14	24/04/14
<b>Modificación de los servos</b>	4	03/01/14	06/01/14
<b>Soldadura</b>	7	03/01/14	09/01/14
<b>Estructura</b>	15	10/01/14	24/01/14
<b>Programación</b>	35	10/01/14	13/02/14
<b>Arduino</b>	16	10/01/14	25/01/14
<b>Android</b>	25	20/01/14	13/02/14
<b>Comunicación Bluetooth</b>	16	29/01/14	13/02/14
<b>Pruebas</b>	42	03/01/14	13/02/14
<b>Redacción de la Memoria</b>	60	23/12/13	20/02/14

Para una mejor percepción se ha realizado un diagrama de Gantt donde se puede observar de forma gráfica los datos expuestos anteriormente.



## A.2 Presupuesto

Código	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>01.</b>	<b>Capítulo 1 - Software</b>				
<b>01.01</b>	Arduino 0023	ud	1	0,00 €	0,00 €
<b>01.02</b>	Processing 2.0b7	ud	1	0,00 €	0,00 €
<b>01.03</b>	Repetier-Host 0.90B	ud	1	0,00 €	0,00 €
<b>01.04</b>	Google SketchUp 8	ud	1	0,00 €	0,00 €
<i>Total Capítulo 1</i>					<i>0,00 €</i>
<b>02.</b>	<b>Capítulo 2 - Comunicación</b>				
<b>02.01</b>	Módulo Bluetooth	ud	1	6,44 €	6,44 €
<i>Total Capítulo 2</i>					<i>6,44 €</i>
<b>03.</b>	<b>Capítulo 3 - Alimentación</b>				
<b>03.01</b>	Baterías Ni-MH	ud	4	2,47 €	9,90 €
<b>03.02</b>	Soporte de baterías	ud	1	0,95 €	0,95 €
<b>03.03</b>	Cargador	ud	1	14,40 €	14,40 €
<i>Total Capítulo 3</i>					<i>25,25 €</i>
<b>04.</b>	<b>Capítulo 4 - Hardware</b>				
<b>04.01</b>	Arduino Pro Mini	ud	1	16,75 €	16,75 €
<b>04.02</b>	Rodamientos	ud	2	2,00 €	0,50 €
<b>04.03</b>	Piñones	ud	3	1,00 €	3,00 €
<b>04.04</b>	Servomotores	ud	3	3,68 €	11,04 €
<b>04.05</b>	Plancha DM	m <sup>2</sup>	0,03	13,00 €	0,40 €
<b>04.06</b>	Tira dentada flexible	m	0,12	7,00 €	0,84 €
<b>04.07</b>	Tira de aluminio perforada	m	0,14	11,33 €	1,59 €
<b>04.08</b>	Tubos de latón	m	0,55	14,17 €	7,80 €
<b>04.09</b>	Cadena	m	0,44	2,91 €	1,30 €
<b>04.10</b>	Final de carrera	ud	2	1,55 €	3,10 €
<i>Total Capítulo 4</i>					<i>46,32 €</i>
<b>05.</b>	<b>Capítulo 5 - Herramientas y otros elementos</b>				
<b>05.01</b>	Herramientas y pequeño material	-	-	15,00 €	15,00 €
<i>Total Capítulo 5</i>					<i>15,00 €</i>
<b>TOTAL PROYECTO</b>					<b>93,01 €</b>

Como se puede observar el presupuesto total de los materiales suma la cantidad de 93,01 €, que se ajusta a uno de los objetivos principales de realizar un proyecto de bajo coste.

No se ha incluido el precio de la licencia del programa de Orcad, puesto que el hacer la placa PCB es algo que se ha hecho para mejorar la organización de la electrónica. Si bien podía haberse usado una placa de fibra de vidrio discontinua para realizar las conexiones sin necesidad de un programa de rutado de pistas.

Tampoco se ha incluido el precio del Smartphone y PC puesto que se entiende que ya se dispone de ellos al ser de uso común y que su precio puede oscilar mucho dependiendo de la marca y modelo.

